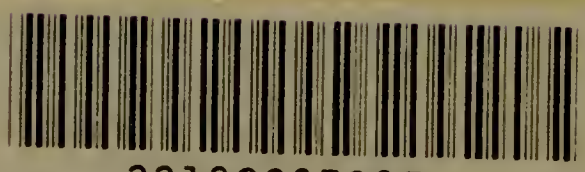
BIBLIOTHEK von COBER
Herausgeber O. Schjerning.

BAND VI.

ZUNTZ U. SCHUMBURG.

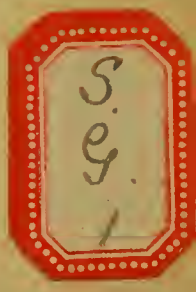
Physiologie des Marsches.


22102207205

Med
30615

Lauder Brunton

who gave it towards
the end of his life to
Barclay.



Seiner Excellenz

dem Königl. Preuss. Generalstabsarzt der Armee, Chef des Sanitätskorps und der Medizinal-Abtheilung des Kriegsministeriums, Director der Kaiser-Wilhelms-Akademie für das militärärztliche Bildungswesen, Wirklichen Geheimen Ober-Medizinal-Rath, ord. Hon.-Professor an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin, Dr. med.

Herrn Alwin v. Coler

widmet

die

Bibliothek v. Coler

— zugleich im Namen aller Mitarbeiter —

in treuer Verehrung

Der Herausgeber.

WELLCOME INSTITUTE LIBRARY
Coll. welMOmec
Call No. WE

Widmung

und

Vorrede zur „Bibliothek v. Coler".

Die Schwelle des neuen Jahrhunderts ist überschritten. Nimmer ruhend, nimmer rastend eilt die Zeit unaufhörlich vorwärts, neue Arbeit, neue Mühen mit sich führend, aber auch neuen Lohn und neue Erfolge verheissend. Und doch schien es, als wenn an der Grenze der Jahrhunderte jeder Einzelne von dem Wunsch beseelt gewesen wäre, einen kurzen Augenblick still zu stehen, um in Ruhe einen Blick rückwärts in die Vergangenheit werfen zu können.

Wie ein schöner, schattiger Punkt mit herrlichem Rundblick den Wanderer im Gebirge zur Rast und Umschau ladet, dass er neue Kräfte zum Steigen sammele und sich an der Aussicht labe, so bot für jeden die Jahrhundertwende willkommenen Anlass, einmal im Drange der Geschäfte Rast zu machen und die Blicke rückwärts schweifen zu lassen.

Für uns Deutsche war dieser Rückblick ein glänzender und voll belohnender. Mächtig und fest gefügt steht des deutschen Reiches stolzer Bau auf dem Boden seiner politischen Einheit; Kunst und Wissenschaft blühen, Handel und Gewerbe gedeihen, und der Nationalwohlstand hat sich zu kaum geahnter Höhe emporgeschwungen. Dennoch zwingt eine solche Umschau, ein Blick in die vergangene Zeit zur Bescheidenheit. Wohin wir nämlich auch sehen, und welches Gebiet wir betrachten, stets sind es, soweit auch die Menge sich müht, nur einzelne wenige in jedem Fach, die Heroen

des Geistes und der Arbeit, die den wahren Fortschritt herbeiführen.

Wie im Leben der Völker die Grösse, das Glück und die Wohlfahrt des Landes stets nur von der geistigen Höhe einzelner Fürsten und Staatsmänner abhängig ist, so scheinen auch in Gewerbe, Kunst, Wissenschaft und Verwaltung nur hie und da leuchtende Meteore, die der Arbeit und Forschung den Weg zum Fortschritt zeigen und erhellen. Auf jedem Gebiet tragen die zahllosen fleissigen Arbeiter Stein auf Stein zum Ausbau der Strasse, aber Richtung und Ziel geben ihr nur einzelne wenige, gottbegnadete Geister. Und auch bei ihnen bewirkt meist nicht eine plötzliche Eingebung, ein Gedankenblitz den Fortschritt; auch bei ihnen verleiht die Führerrolle meist nur ruhige, stetige Arbeit, wenn auch nach einem wohldurchdachten, oft genialen Plane.

Nirgends ergiebt sich dies deutlicher, als in der Geschichte der Medizin, und zwar sowohl in der Entwickelung der wissenschaftlichen Medizin, wie auf dem Gebiete der Sanitäts-Verwaltung. Wie viele Tausende und aber Tausende haben in aufopferungsvoller Praxis und mühsamer theoretischer Arbeit ihre Dienste der medizinischen Wissenschaft und der Medizinal-Verwaltung geweiht, und doch, nur wenige Namen sind es, welche die bahnbrechenden Förderer, die Männer des wahren Fortschritts in der Medizin bezeichnen und verkünden! Und auch bei diesen Männern bedurfte es alle Zeit harter Geistesarbeit, ehe ihre Gedanken zur That, ihre Arbeiten zu einem richtunggebenden Fortschritt in der Heilkunde zu werden vermochten.

Betrachten wir zunächst die wissenschaftliche Richtung.

Als die Heilkunde um die Mitte des vorigen Jahrhunderts den folgenschwersten, wichtigsten und richtigsten Weg einschlug und unter der Führung des genialen Johannes Müller den Irrweg der deductiven Methode der Forschung

verliess, da stellten Virchow und Helmholtz die wissenschaftliche Medizin auf den Boden der echten naturwissenschaftlichen Forschung. Aber auch ihre Gedanken und ihre Werke sind mühsamer Arbeit entsprungen. Denn naturwissenschaftliche, gültige, führende Gesetze aufstellen, ist nur durch Beobachtung möglich, „durch Induction, durch sorgfältige Aufsuchung, Herbeiführung, Beobachtung solcher Fälle, die unter das Gesetz gehören.“ Da nun der Erfolg hierbei wesentlich von der Tiefe und Vollständigkeit der vorausgegangenen Anschauung abhängt, so muss, je grösser und wichtiger die gefundenen Gesetze sind, auch um so umfassender die Menge der Beobachtungen sein, die ihnen zu Grunde liegen, und um so grösser und gewaltiger die Arbeit und das Arbeitsmaterial, das der Forscher zu bewältigen hatte.

Noch heute, nach fast 60jähriger Arbeit kämpft, streitet ein Virchow für die Richtigkeit seiner Gesetze gegen die noch immer spukenden metaphysischen Anwandlungen der Gegner.

Welche Mühe liegt den Forschungen eines Pasteur, welche Arbeit den Werken eines Pettenkofer und Rob. Koch zu Grunde. Auch die beiden grössten therapeutischen Errungenschaften der letzten Jahrzehnte, die mit den Namen eines Lister und v. Behring verbunden sind, verdanken nicht Augenblickseingebungen, sondern tiefer und ernster Arbeit ihren Ursprung.

Grosse Leistungen, — das wird jeder grosse Künstler, jeder grosse Forscher, jeder grosse Mann bestätigen, — entstehen nur aus grosser Arbeit.

Genau so ist es in der Medizinal-Verwaltung. Auch hier erheischt der Erfolg stets Mühen und Arbeit, und auch hier sind es nur einzelne Namen, an die die grossen Errungenschaften und der glänzende Fortschritt sich knüpfen.

Wer mit kundigem und vorurtheilsfreiem Auge die Entwickelung verfolgt, welche dieser spezielle Zweig der Medizin im letzten Jahrhundert genommen hat, der kann sich des Ein-

drucks nicht erwehren, dass besonders der Aufschwung des Militär-Medizinal-Wesens ein aussergewöhnlich bedeutender und geradezu glänzender gewesen ist. Von dem Tage an, wo des grossen Kaisers Wilhelm I. hochherzige Entschliessungen den Militärärzten eine neue Organisation ihres Verbandes gaben und das Sanitätsoffizierkorps schufen, bis heute, bis über die Schwelle des neuen Jahrhunderts hinaus reiht sich in der Kette der segensreichen Entwickelung des Militär-Sanitäts-Wesens erfolgreich Glied an Glied zweckmässiger, wohldurchdachter, folgerichtiger Massnahmen, die die Hebung des Standes der Militärärzte, die Förderung ihrer wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit und somit die Erhöhung ihrer Bedeutung und Wirksamkeit für das Wohl der Armee bezweckten und erzielten.

Und auch hier ist es ein Mann, mit dessen Namen und mit dessen Wirken dieses erfreuliche Gedeihen des Militär-Sanitätswesens aufs innigste verbunden ist, dessen rastlose, unermüdliche Arbeiten das Blühen des militärärztlichen Standes und der militärärztlichen Wissenschaft bewirkt und gefördert haben, und der sein ganzes Leben hindurch der Pflege dieses Feldes seine volle Kraft geopfert hat, — der Generalstabsarzt der Preussischen Armee und Chef des Sanitätskorps

Alwin v. Coler.

Darum ist es wohl zu verstehen, wenn diesem Mann die Herzen aller deutschen Militärärzte in Dankbarkeit und Treue entgegenschlagen.

Aber die Bedeutung seiner Person und der Einfluss seiner Wirksamkeit gehen weit über den Rahmen des Gebietes der Militär-Sanitäts-Verwaltung hinaus.

So lange v. Coler in der Militär-Medizinal-Verwaltung thätig ist, — und dies ist bereits seit dem Jahre 1867 der Fall, — leitete ihn das Bewusstsein, dass eine Förderung der Leistungen der Militärärzte und ihre wirksamste Verwerthung für das Wohl der Armee, zumal hinsichtlich der Behandlung

und der Verhütung von Krankheiten, nur in engster Anlehnung an das Civil-Medizinal-Wesen und besonders an die Lehrstühle der Universitäten zu erzielen sei, dass aber nur durch die Hebung der Leistungen auch eine Weiterentwickelung der Standesinteressen zu erreichen möglich, und wiederum mit jeder Verbesserung der sozialen Stellung der Militärärzte rückwirkend zugleich ein Aufschwung des gesammten ärztlichen Standes verbunden sei. Unvergessen lebt in der dankbaren Erinnerung seine glänzende Vertretung der deutschen Aerzte auf dem internationalen Congress für Hygiene in London 1891 und auf dem internationalen medizinischen Congress in Moskau 1897.

Sodann kommt sein mittelbarer und unmittelbarer Einfluss auf die medizinische Wissenschaft selbst in Betracht. Einmal pflegte er selbst bestimmte Gebiete der Heilkunde und ihrer Zweige; die von ihm erzielten wissenschaftlichen Fortschritte erstrecken sich auf das ganze Gebiet der Armeekrankheiten, auf die Armeestatistik, auf die Infectionskrankheiten und die Kriegschirurgie. Und dann liess er sich angelegen sein, auch diejenigen seiner Untergebenen, deren wissenschaftlichen Werth er mit scharfem Blick frühzeitig erkannte, derart zu fördern und zu unterstützen, dass viele von ihnen auf den selbstgewählten Gebieten Meister und Lehrer werden konnten.

Als Anerkennung dieser seiner Verdienste um die Hebung der medizinischen Wissenschaft darf seine Ernennung zum ordentlichen Honorar-Professor an der Universität Berlin betrachtet werden.

Das Wichtigste aber ist, — und hierin liegt die wahre Bedeutung seiner Grösse, — dass er es verstanden hat, die Ergebnisse der Wissenschaft praktisch für die Verwaltung zu verwerthen. Es gehört unzweifelhaft eine besondere Kunst und ein eigenes Talent dazu, das, was die Wissenschaft theoretisch gefunden hat, nun auf dem Wege der Verwaltung so einzuführen, dass es verständnissvoll von Allen

Sanitätsdienst einem künftigen Feldzuge beruhigt entgegensehen können, und unsere Armee in den Vorbereitungen für die Pflege und Unterbringung der Kranken und Verwundeten im Kriege keiner anderen irgendwie nachsteht, so ist das vornehmlich das Verdienst v. Coler's.

In gleicher Weise hat er dem Friedenssanitätsdienst eine hingebende, erfolgreiche Sorgfalt gewidmet. Alle Fortschritte der Wissenschaft sind verwerthet, alle Mittel der Krankenpflege weise benutzt, und die Anforderungen der Humanität wurden in vollem Einklang mit den militärischen Grundsätzen gebührend berücksichtigt. Die Friedenssanitätsordnung vom 16. Mai 1891, welche die Grundlage des gesammten militärärztlichen Dienstes bildet, ist der wahre Ausdruck dieser Bestrebungen geworden. Es gelang v. Coler, eine stattliche Reihe von Militärlazarethen nach den modernen Grundsätzen, nach denen der Bau der Heilanstalten erfolgt, neu zu errichten, und auch die älteren Lazarethe so umzugestalten und ihren Betrieb so einzurichten, dass sie allen billigen Anforderungen in vollstem Masse entsprechen. Dass er dabei vielfach neue leitende praktische Gesichtspunkte für den Hospitalbau und die Hospitaleinrichtungen fand und durchführte, ist bei der lebendigen Art seines Wirkens leicht erklärlich. Die Errichtung von Genesungsheimen in den verschiedenen Armeekorps an zweckmässig ausgewählten Orten bietet den von schwerer Krankheit geheilten Soldaten, die der häuslichen Pflege entbehren müssen, eine Stätte sorgsamster Obhut, wo sie bald neue Kräfte sammeln und Erholung finden können. Immer vollkommener haben sich die Worte erfüllt, welche v. Coler seinen Untergebenen ans Herz gelegt hat, dass die Militärlazarethe unter der Leitung der Chefärzte sich zu Musteranstalten entwickeln müssen, Musteranstalten, die nicht durch prunkvolle Ausstattung im Aeussern, sondern durch eine sorgfältige Verwaltung im ökonomischen und hygienischen Sinne dem Kranken die zweckmässigste Unterkunft sichern, Musteranstalten ferner in der Richtung, dass dem

Kranken seitens der Aerzte nicht nur auf Grund ausgezeichneter technischer und wissenschaftlicher Leistungsfähigkeit, sondern auch in warm empfundenem und bezeugtem Mitgefühl die beste Hülfe und Pflege geboten wird.

v. Coler hat die Freude gehabt, die Erfolge seiner Wirksamkeit immer deutlicher hervortreten zu sehen. Von Jahr zu Jahr haben sich die Krankheits- und Sterblichkeitsziffern im Heere vermindert, und Gesundheit und Leben bleibt weit mehr wie früher den Soldaten erhalten. Welche Fülle von Nationalwohlstand und Familienglück allein in dieser Thatsache liegt, wird dem einleuchten, der bedenkt, dass nunmehr die Soldaten, die Söhne des Volkes, in weit grösserer Zahl als früher frei von Krankheit nach abgeleisteter Dienstpflicht in die Heimath, in die Familien zurückkehren, um hier — gesund und kräftig — den eigenen Herd und die eigene Familie zu begründen.

Die Sterblichkeit in der Armee ist von 5,0 pM. der Kopfstärke im Jahre 1877/78 auf 1,5 pM. im Jahre 1897/98 gesunken, und die Erkrankungsziffer von 1165,1 pM. im Jahre 1877/78 auf 682,5 pM. im Jahre 1897/98 gefallen.

So günstige Ergebnisse waren aber nur zu erreichen, wenn für eine möglichst gründliche und möglichst umfassende Aus- und Fortbildung der Militärärzte gesorgt wurde. Dieser Aufgabe hat Excellenz v. Coler ganz hervorragend seine Kräfte gewidmet.

Den militärärztlichen Bildungsanstalten bez. der Kaiser Wilhelms-Akademie wandte er alle Zeit seine besondere Liebe und Aufmerksamkeit zu; immer und immer wieder wurde der Studiengang der Akademiker, die ihre eigentlichen Studien an der Universität treiben, geprüft, geändert, erweitert, vertieft; neue Sammlungen wurden bei der Akademie gegründet, die alten vervollkommnet und umgestaltet; es entstanden Laboratorien und Untersuchungsstätten für chemische, bacteriologische, physikalische Forschungen, und die Bibliothek wurde zweckmässiger zugänglich und allen

Aerzten praktisch benutzbar gemacht, kurz auf allen Gebieten der Akademie ist reges wissenschaftliches Leben geschaffen, das hoffentlich durch den geplanten „Wissenschaftlichen Senat der Akademie“ dauernd kräftig pulsirend erhalten bleiben wird.

Und wie hat er für die Weiterbildung der Militärärzte gesorgt! Aus bescheidenen Anfängen sind die Fortbildungskurse der Militärärzte, v. Coler's Lieblingsschöpfung, zu reicher, ungeahnter Entwickelung gelangt. In ihnen, die in Verbindung mit allen Universitäten stehen, empfangen active Militärärzte und Militärärzte des Beurlaubtenstandes in den meisten Zweigen der ärztlichen Wissenschaft von Neuem Belehrung und Anregung, in ihnen werden neue Gebiete und die neuen Forschungen in kurzer, mustergültiger Form leicht und praktisch erschlossen und zugänglich gemacht. Daneben erfolgen die Commandirungen junger Militärärzte auf mehrere Jahre als Assistenten zu den Universitätskliniken, sodass auf den verschiedensten Gebieten spezialistische Ausbildung ermöglicht ist.

Dass alle diese Bestrebungen die reichsten Früchte getragen haben, ersieht man aus der stattlichen Zahl derjenigen, welche, aus der Reihe der Militärärzte hervorgegangen, jetzt wichtige Lehrstühle an den medizinischen Facultäten der verschiedenen Universitäten einnehmen, und sodann auch aus der Fülle hochwissenschaftlicher Schriften, die aus dem Sanitätskorps — sei es von der Medizinal-Abtheilung, sei es von einzelnen Militärärzten ausgehend — ihren Ursprung genommen haben.

Von den unter v. Coler's Leitung und Anregung seitens der Medizinal-Abtheilung herausgegebenen Werken sind hervorzuheben: Der Sanitätsbericht über die deutschen Heere im Kriege gegen Frankreich 1870/71, die alljährlich erscheinenden Friedens-Sanitätsberichte der Armee, die Veröffentlichungen aus dem Gebiete des Militär-Sanitätswesens, das Werk über die Wirkung und die kriegschirurgische Bedeutung der neuen

Handfeuerwaffen, und sodann „die transportable Lazarethbaracke“, welche v. Coler im Verein mit v. Langenbeck und Werner verfasste, und in welcher sehr wichtige Gesichtspunkte für die Unterbringung der Kranken und Verwundeten im Felde niedergelegt sind.

Was v. Coler für die Verwaltung der persönlichen Angelegenheiten der Militärärzte, für die Organisation des Sanitätskorps und für jeden seiner Untergebenen persönlich gethan, das lebt in den Herzen der Militärärzte, sowie in der Geschichte des Sanitätskorps und der Armee unvergessen fort. Zu allen grossen Errungenschaften dieser Organisation hat er Anstoss und Plan gegeben, und seiner unermüdlichen Hingebung ist der Erfolg zu danken. Die Waffendienstzeit der Mediziner, die Schaffung des Sanitätsoffizierkorps, die Einführung der Chefärzte, die Errichtung der Stellen der Divisionsärzte, die Regelung der Rang- und Einkommensverhältnisse der Militärärzte und vieles Andere sind im Wesentlichen seinem thatkräftigen Eingreifen entsprungen.

So steht der Erfolg seines Wirkens auf vielen und grossen Gebieten leuchtend den Zeitgenossen vor Augen. Und doch lässt sich nicht daraus erkennen, welche Mühen und Sorgen und welche Verantwortung mit diesen Arbeiten verbunden waren. Es gehörte das warme und seinem Berufe mit voller Begeisterung ergebene Herz eines ganzen Mannes dazu, um bei allen Hindernissen und Stockungen, die nicht ausbleiben konnten, und bei allen Widerwärtigkeiten und Fährlichkeiten, die sich entgegenstellten, doch stets den eingeschlagenen Weg weiter zu verfolgen und immer mit der gleichen Freudigkeit für seine Sache zu kämpfen und seine Mitarbeiter zu begeistern. Vor Allem haben aber auch die stets bewiesene Dankbarkeit seiner Untergebenen, die Verehrung seitens seiner Standesgenossen und das allseitige Vertrauen, dessen er sich erfreute, die Grundlage seines Wirkens gefestigt und seinen Willen gestärkt.

Mit Recht bildet die Anerkennung seines Kaisers und Königs, die seiner Arbeit so oft zu Theil ward, seinen höchsten Stolz. Am 2. December 1895 übersandte ihm des Kaisers Majestät das nachstehende Telegramm:

„An dem heutigen Tage, an welchem das medizinisch-chirurgische Friedrich Wilhelms-Institut die hundertjährige Wiederkehr seines Stiftungstages begeht, gedenke Ich besonders der opferwilligen und segensreichen Thätigkeit aller Mitglieder des Sanitätskorps, namentlich aber derjenigen, die in grosser Zeit vor dem Feinde, in den Feld-Lazarethen und in der Heimath das unabwendbare schwere Leid des Krieges zu lindern und zu heilen wussten.

Das Militärsanitätswesen ist seiner ernsten, dem Kampfe Mann gegen Mann gleich zu achtenden Aufgabe damals in allen seinen Gliedern und Theilen voll gerecht geworden.

Ich füge gern hinzu, dass es seitdem mit der fortschreitenden Wissenschaft stets gleichen Schritt gehalten, ja der ärztlichen Kunst zum Segen der Menscheit neue Wege gewiesen hat.

Dies ist nicht zum Wenigsten Ihr Verdienst, und Ich bin der Ueberzeugung, dass unter Ihrer bewährten Leitung das Sanitätskorps sich auch den höchsten Anforderungen gewachsen zeigen wird.

gez. Wilhelm R.“

Jugendfrisch und arbeitsfreudig vollendet Excellenz v. Coler heute sein 70. Lebensjahr. Ein Mannesleben, voll von Sorgen, Mühe und Arbeit, aber auch reich an Erfahrungen, Erfolgen und Freuden, liegt hinter ihm. Das Sanitätskorps rüstet sich, diesen Tag festlich zu begehen. Aber auch weit über diesen Kreis hinaus regt sich die freudige Theilnahme. und überall, wo der Einfluss seines Wirkens sich geltend

machte, wo treue Herzen ihm entgegenschlagen, in der Armee, unter den Standesgenossen, im Kreise seiner zahlreichen Freunde bringt man ihm freudige Grüsse und wärmste Wünsche dar.

Und doch drängte es eine stattliche Zahl seiner Verehrer, ihm für den heutigen Tag und für die Zukunft ein besonders sichtbares Zeichen ihrer Liebe und Werthschätzung zu geben. Man glaubte, dazu kein schöneres Gebiet als die von ihm so hochgestellte Wissenschaft und keine köstlichere Gabe ausfindig machen zu können, als die eigene geistige Arbeit auf dem Felde dieser unserer medizinischen Wissenschaft.

So entstand der Gedanke, ihm als Angebinde zum 15. März 1901 eine Reihe von Werken zu überreichen, die verschiedene Gebiete der Medizin behandeln, die aber alle in einer gewissen Verbindung mit dem besonderen Felde der Thätigkeit v. Coler's, dem militär-medizinischen Gebiete stehen, und alle diese einzelnen Werke zu einer

Bibliothek v. Coler

zusammenzufassen.

Zahlreiche Militärärzte, aus den Reihen der Sanitätsoffiziere hervorgegangene Professoren, sowie solche Aerzte und Universitätslehrer, die mit dem Sanitätskorps in naher Berührung stehen, haben sich freudig in den Dienst der Sache gestellt und ihr Wissen, ihre Erfahrung, ihren Geist, ihre Arbeit darangesetzt, um in dieser Bibliothek v. Coler eine Sammlung von Werken zu schaffen, die unserer Wissenschaft zur Förderung und zum Ruhm, und dem Manne, dem sie gewidmet ist, zur Ehre und Freude gereichen soll.

Der Entstehung und dem Zweck der Bibliothek entsprechend enthalten ihre einzelnen Bände Compendien, Grundrisse, umfassende Abhandlungen bestimmter Gebiete der Geschichte der Medizin, der Physiologie, der inneren Medizin, der Chirurgie und Kriegschirurgie, der Hygiene und der Spe-

zialwissenschaften, z. B. der Ohren- und der Augenheilkunde. Dem kundigen Blick wird es dabei nicht entgehen können, wie bei jeder Arbeit in gewisser Richtung der Zusammenhang mit der Militärmedizin gewahrt ist, in die ja alle Zweige der medizinischen Wissenschaft so wesentlich eingreifen.

Es gereicht mir, dem es vergönnt war, in arbeitsreicher und arbeitsfroher Zeit dem Generalstabsarzt der Armee eng zur Seite zu stehen, zur hohen Ehre, des allseitigen Vertrauens gewürdigt zu sein, die Herausgabe dieser Bibliothek leiten zu dürfen. Seiner Excellenz dem Herrn Kriegsminister v. Gossler für seine Genehmigung, den Herren Mitarbeitern für ihr Entgegenkommen, dem Herrn Verleger für seine Unterstützung meinen Dank zu sagen, ist mir Pflicht und herzliches Bedürfniss.

Möchten die Wünsche, mit der wir die Bibliothek v. Coler dem hochverdienten Manne, dessen Namen sie führt, übergeben, in Erfüllung gehen!

Wir hoffen, dass der Generalstabsarzt der Armee in unserem Werk ein Zeichen unserer Verehrung und Dankbarkeit erblicken möge, dass die Bibliothek seines Namens würdig sei, dass sie Zeugniss ablege von dem Streben aller Mitarbeiter nach Wahrheit und von dem ächten wissenschaftlichen Geiste, der Alle beseelte, dass sie der Medizin zur gedeihlichen Förderung gereiche, und dass sie auch in den Kreisen der Fachgenossen eine freundliche Aufnahme finde! Dann wird auch der Generalstabsarzt der Armee v. Coler — will's Gott noch lange Jahre — an dem Gelingen und Erfolge des Werkes seine Freude haben!

Berlin, 15. März 1901.

Dr. **Otto Schjerning,**
Generalarzt und Abtheilungschef
bei der Medizinal-Abtheilung
des Kgl. Preuss. Kriegsministeriums.

Bibliothek v. Coler.

Sammlung von Werken

aus dem

Bereiche der medicinischen Wissenschaften

mit besonderer Berücksichtigung

der militärmedicinischen Gebiete.

Herausgegeben von

O. Schjerning.

Band 6.

Studien zu einer Physiologie des Marsches

von

Prof. Dr. **Zuntz** und Dr. **Schumburg.**

Berlin 1901.

Verlag von August Hirschwald.

NW. Unter den Linden 68.

Studien

zu einer

Physiologie des Marsches

von

Dr. **Zuntz,**
Professor der Physiologie an der Königl. Landwirthschaftlichen Hochschule in Berlin.

und

Dr. **Schumburg,**
Oberstabsarzt 1. Kl. und Privatdocent in Hannover.

Mit Abbildungen, Curven im Text und einer Tafel.

Berlin 1901.
Verlag von August Hirschwald.
NW. Unter den Linden 68.

Alle Rechte vorbehalten.

Inhalt.

Seite

I. **Einleitung** 1

Aeltere Geschichte der Physiologie des Ganges . . 2
Arbeiten der Gebrüder Weber 8
Marey und seine Schüler 10
Vierordt 11
Braune und Fischer 12
Schwerpunkt des unbelasteten und des militärisch belasteten Körpers 15
Messungen des Gaswechsels (Smith, Speck, Katzenstein) 16
Sportliches und militärisches Training (Kolb, Leitenstorfer) 17
Militärische Marschvorschriften. 20
Erörterungen über Erleichterung des Gepäcks des Infanteristen 22
Plan der eigenen Untersuchungen 25

II. **Allgemeines Verhalten beim Marsch** 29

Körperzustand der Versuchspersonen und seine Veränderung durch die Märsche 30
Graphische Darstellung der Ergebnisse 33
Mitarbeiter 34

III. **Einfluss des Marsches auf einzelne Funktionen des Körpers** 34

a) Puls 34
Frequenz, abhängig von Individualität und Belastung 36
Sphygmograph und seine Technik 39
Ausmessung und Deutung der Sphygmogramme 41
Sphygmogramme 46
Zeitdauer der primären Erhebung, der Systole und der Diastole in Ruhe und ihre Veränderung durch die Märsche 52
Elastieitätselevationen und Dikrotie 66
b) Herz und Leber 76
Geschichtliches. 77
Vorsichtsmaassregeln bei der Untersuchung, Ergebnisse 82

Seite

c) Blut 88
Specif. Gewicht. Brauchbarkeit von Hammerschlag's Methode 90
Zählung der rothen und weissen Blutkörperchen und der Arten der letzteren 91
Parallelismus zwischen specifischem Gewicht des Blutes und Zahl der rothen Blutkörperchen . 96
Vorübergehende Zunahme von Dichte und Erythrocytenzahl durch die Märsche und ihre Ursachen 99
Die angestrengte Muskelarbeit bewirkt keine dauernde Veränderung des Blutes 106
Zunahme der Leukocyten, speciell der polynukleären 107
d) Mechanik der Athmung 113
Einwirkung des Gepäcks und der Ermüdung
auf die Vitalcapacität 114
auf die Athemfrequenz 120
e) Körperwärme 124
Messung im Harnstrahl, ihre Zuverlässigkeit . 125
Temperatursteigerung auf den Märschen . . . 129
f) Nerven und Muskeln 130
Methode der Messung der psychischen Reactionszeit 131
Mässige Marschanstrengung verkürzt, stärkere verlängert die Reactionszeit und lässt Fehlreactionen auftreten 136
Das Zahlengedächtniss wird durch sehr anstrengende Märsche geschwächt 139
Beschreibung von Mosso's Ergograph . . . 140
Die ergographisch gemessene Kraft der Vorderarmmuskeln wird nur nach erschöpfenden Märschen herabgesetzt 143
g) Harn 146
Das specifische Gewicht wird durch Marschanstrengung herabgesetzt 147
Die physiologische Albuminurie nimmt nach den Märschen nicht zu 153
Grob nachweisbare Albuminurie ist ein Zeichen von Ueberanstrengung 156

IV. Einfluss des Marsches auf den Stoff- und Kraftwechsel 157

a) Bilanz des Stoffwechsels 157
Kost für den 17tägigen Bilanzversuch . . . 160
Stoffverbrauch in absoluter Ruhe und unter dem Einfluss der Verdauungsarbeit . . . . . 171 u. 179
Einfluss des Stehens, Gehens und der Hantirungen auf den Verbrauch . . . . . 173 u. 181
Vergleich der berechneten und gefundenen Aenderungen des Körpergewichts . . . . . 176 u. 182
Nachhaltige Wasserverarmung des Körpers durch die Märsche 178

Seite

Kritik der üblichen Rationen des Soldaten, Nothwendigkeit grösserer Fett- und Zuckermengen 185
Angestrengte Märsche bewirken Vermehrung der Muskulatur unter starker Abnahme des Fettes 186
Eiweisszerfall durch die Marschanstrengung und seine Ursachen 187
Die relativen Mengen der stickstoffhaltigen Harnbestandtheile werden durch Märsche nicht geändert 190
Der Schwefel des Harns steigt mehr als der Stickstoff, ebenso Kalk und Phosphorsäure . 191
Einwirkung der Arbeit auf die Ausnutzung der Nahrung 195
Die Schweissabsonderung auf dem Marsch . . 198
Stickstoffgehalt und Menge des Schweisses . . 199

b) Untersuchung des respiratorischen Gaswechsels
1. Gesichtspunkte und Methode 206
2. Ueberblick der Versuche 211
3. Discussion der Ruheversuch 215
Im Laufe der Versuche wächst der Ruheverbrauch, weil die Muskulatur zunimmt 217
Einfluss der Nahrung auf den Gaswechsel . . 220
Gaswechsel im Stehen; in der Ruhe nach grossen Anstrengungen 222
Messung der Athemarbeit bei Einathmung kohlensäurereicher Luft: Stoffwechselproducte des Muskels als Erreger des Athemcentrums . . 228
4. Die Athmung während des Marsches . . . 231
Athemmechanik bei und nach dem Marsche . 232
Athmung unbelastet beim Marsch in der Ebene und bergauf 238
Athmung beim Marsch mit verschieden schwerem Gepäck, frisch und ermüdet 247
Der durch einen anstrengenden Marsch verbrauchte Kohlenhydratbestand des Körpers wird bis zum andern Tage nicht voll ergänzt 255

c) Der calorische Werth der Marscharbeit
1. Abhängigkeit von der Belastung und der Ermüdung 259
Antheil des Eiweisses an der Energieentwicklung in Ruhe und bei Arbeit 260
Berechnung des Energieverbrauchs auf den Märschen frisch und ermüdet 264
(Steigerung des Verbrauchs durch Fusskrankheit) 265
Energieverbrauch für 1 mkg Arbeit 277
Abnahme des Verbrauchs mit fortschreitender Uebung 279
Steigerung des Verbrauchs durch Ermüdung vom Tage vorher 280
2. Einfluss der Geschwindigkeit auf Stoff- und Energieverbrauch 283

Seite

Mechanische Arbeit des einzelnen Schrittes . . 290
Kritik der mechanischen Bestimmungen der Geharbeit durch Weisbach, Hildebrand, Démeny 291
Wachsen des Verbrauchs für die Wegeinheit bei sehr langsamem Schritt 293
Vergleich zwischen Transport des eigenen Körpers und Transport des Gepäcks 295
Verbrauch für die „statische Arbeit" beim Tragen des Gepäcks 306
Mehrarbeit der Athemmuskeln mit Gepäck . . 307
Ermittelung der besten Anbringung des Gepäcks und der besten Gangart durch Respirationsversuche 309
d) Die Wärmeregulirung auf dem Marsche 309
Vortheil der Erwärmung des Körpers bei Beginn der Arbeit 313
Vergleich zwischen der Verdunstung des menschlichen Körpers und einer leblosen feuchten Oberfläche 315
Berechnung des Einflusses der meteorologischen Faetoren und der Belastung auf die Verdunstungsgrösse 321

Schlusswort und Ausblick auf weitere Aufgaben 333

Anhang 336

I. Einleitung.

Die deutsche Felddienst-Ordnung vom 1. Januar 1900 sagt:

„*303. Der weitaus grösste Theil der Kriegsthätigkeit der Truppen besteht im Marschiren. Der Marsch bildet die Grundlage aller Operationen, auf seiner sicheren Ausführung beruht wesentlich der Erfolg aller Unternehmungen. Oft ist schon entscheidend, dass eine Heeresabtheilung zur rechten Zeit schlagfertig auf dem ihr angewiesenen Punkt eintrifft.*“

„*306. Eine an Marschzucht gewöhnte Truppe wird indessen nur dann dauernd und vollzählig marschfähig bleiben, wenn jede durch den Zweck des Marsches nicht unbedingt erforderte Anstrengung einsichtsvoll vermieden wird.*“

Eindringlicher als mit diesen kurzen Worten der Felddienst-Ordnung lässt sich wohl die Bedeutung des Marsches für das gesammte Kriegswesen, für die Wehrkraft der Nation nicht darlegen.

Mit dieser Darlegung aber sind alle Bestrebungen, welche die Physiologie, die Hygiene des Marsches zu klären und zu fördern suchen, gerechtfertigt, ja geradezu als nothwendig gefordert. So bedarf es auch keiner eingehenderen Begründung dafür, dass wir unsere Studien über die Wirkung der Belastung auf die Leistungsfähigkeit des marschirenden Soldaten, über welche wir kurz in der militärärztlichen Zeitschrift 1895 berichtet haben, soweit als möglich zu einer Physiologie des Marsches auszugestalten suchen, in der Hoffnung, mit dieser unserer Arbeit die Grundlagen, auf welche der Offizier wie der Militärarzt sich zu stützen haben, wenn sie die Marschleistungen zu möglichster Vollkommenheit zu entwickeln streben, fester und sicherer zu fügen.

Die Physiologie des Marsches blickt schon auf eine lange Geschichte zurück; solange die Mediciner exakte Anatomie betreiben, befinden sich in den ja nicht gar zu zahlreichen uns überkommenen Schriften zunächst nur Bemerkungen eingestreut über die Mechanik der Gelenke, über den Gang, das Laufen des Menschen und der Thiere. Zu solchen grob mechanischen Studien reichten die damaligen Hülfsmittel aus. Vielfach freilich wurde das thatsächlich Beobachtete mit allerlei spekulativem, theoretischem Wust umgeben und so in seiner Bedeutung wieder beeinträchtigt.

Der Aufschwung der Anatomie führte naturgemäss zu einer genaueren Analyse der Bedingungen des menschlichen Stehens und Marschirens. Zu sicherer wissenschaftlicher Begründung konnten diese Bestrebungen aber erst leiten, nachdem auch die Mechanik unter den Händen der grossen Mathematiker vom 16. Jahrhundert ab zu einer exakten, auch schwierigen Problemen gewachsenen Wissenschaft geworden war. Von den Anatomen, welche sich mit den uns interessirenden Problemen beschäftigten, seien genannt: Fabricius ab Aquapendente, italienischer Anatom und Chirurg, 1537 bis 1619; Gassendi 1592 bis 1655, seit 1616 Professor der Philosophie zu Aix, trieb Astronomie und Anatomie, wurde später Professor der Mathematik in Paris; Borelli, 1608 bis 1679 Professor in Pisa, „Iatromathematiker", sein berühmtes grundlegendes Werk „De motu animalium" erschien erst nach seinem Tode.

Gassendi und Borelli stellten einen fundamentalen Versuch an, um zu erfahren, ob der Rumpf des gehenden Menschen einer Schwankung nach der rechten und der linken Seite unterworfen sei. Zu diesem Zweck richtete Borelli zwei Stangen in einer beträchtlichen Entfernung von einander senkrecht auf und versuchte, ob er in der Richtung der sie verbindenden Vertikalebene so zu gehen vermöchte, dass die vordere die hintere stets ganz bedeckte. Er fand, dass dies nicht möglich sei, sondern dass die hintere Stange neben der vorderen bald auf der linken, bald auf der rechten Seite erschien, und dass folglich das Gehen von Schwankungen bald nach der linken, bald nach der rechten Seite begleitet sei. [1]) Einen ähnlichen Versuch, bei dem mittels der gegen

---

[1]) Borelli, De motu animalium. pars I. propos. CLVII. p. 164. Lugdun. Batav. MDCCX.

eine Wand ausgestreckten Hand die seitlichen Schwankungen ermittelt wurden, führt Gassendi an.

Ferner hat Borelli ein Experiment beschrieben zur Bestimmung der Lage des Schwerpunkts des ganzen Körpers in gestreckter Lage. Er legte nämlich einen Leichnam auf die Mitte eines wohl abgerichteten Bretts, legte dieses Brett auf die Kante eines Prismas auf und verschob es solange, bis es im Gleichgewicht war. Auf diese Weise fand er den Schwerpunkt jenes Leichnams zwischen Gesäss und Scham (inter nates atque pubin) liegend. Auch betrachtete Borelli diesen Punkt als den Angriffspunkt der Kräfte, welche beim Gehen wirksam sind.[1])

Was sich ausserdem bei den oben aufgeführten Schriftstellern über das Gehen und Laufen findet, sind, wie Gebrüder Weber sagen, lediglich Speculationen ohne selbst historischen Werth. Gassendi hat am Schluss seiner Abhandlung 10 Thesen über das Gehen aufgestellt, von denen das Wichtigste ist, dass nach seiner Meinung die Bewegung des Rumpfes deshalb ununterbrochen fortgeht, weil in dem Augenblicke, wo das eine Bein, auf welches er sich stützt, zu stemmen aufhört, das andere ihn aufnimmt und, schon stemmend, ihn stützt und ohne Zeitverlust ihn weiterführt. Ein Bein steht somit immer auf dem Boden. Die Bewegung des Rumpfes ist nach ihm etwas wellenförmig, und zwar sowohl aufwärts und abwärts, als auch rechts und links.

Borelli stellt schon ganz bestimmte Theorieen über die Fortbewegung des menschlichen Körpers auf, ohne sie indess durch Experimente zu erhärten. So meint er ganz richtig im 19. Capitel des ersten Theils des citirten Werkes „De motu animalium“, dass beim Gehen der menschliche Körper stets auf den Boden gestützt ist, jedoch abwechselnd mittels des einen und des anderen Beines . . . . Die Beine sind beim Stehen so auf den Boden gestützt, dass sie ein gleichschenkeliges Dreieck bilden. Von dieser Lage aus führt die Natur gleichzeitig mehrere Kreisbewegungen aus, wodurch der menschliche Gang zu Stande kommt . . . nicht anders als ein Schiff, das von den Schiffern mit der Stange getrieben, sich vom Ufer entfernt. . . . Während der Körper auf beiden Beinen ruht, geschieht die Fortbewegung seines Schwerpunkts

---

[1]) Borelli. op. cit. pars I. propos. CXXXIV. p. 143 und Fig. 12, Tab. X.

(den Borelli in die Höhe der Schenkelköpfe setzt); denn indem durch das hintere Bein, welches sich durch die Streckkraft des Fusses verlängert, der Boden rückwärts gestossen wird, erhebt sich die ganze Maschine bis lothrecht über den vorderen festen Fuss und wird noch etwas weiter nach vorwärts bewegt. Plötzlich wird dann der verlängerte hintere Fuss von der Erde durch Beugung dreier Gelenke, des Hüft-, Knie- und Fussgelenks, erhoben und wird in Folge der durch den vorhergehenden Anstoss erhaltenen Geschwindigkeit und durch Beugung des Kopfes und der Brust über den ruhenden Fuss hinaus auf den Boden aufgesetzt.

Bezüglich des Springens sagt Borelli: Wir sehen, dass Menschen, die auf den Beinen mit ausgestreckten Gelenken, wie auf Säulen, stehen, nicht springen können, wenn sie auch wollen und sich noch so sehr anstrengen. Sind dagegen aber die Gelenke gebogen und sehr zusammengekrümmt und werden dann die Streckmuskeln mit grosser Heftigkeit gespannt und verkürzt, so erfolgt ein Sprung.

Haller geht bei Erörterung der Bewegung in seinen Elementen der Physiologie von dem einen unbeweglichen Fuss des gehenden Menschen aus, welcher den Kräften, durch welche man den anderen Fuss fortbewegen muss, als punctum fixum zu dienen hat. Dann wird dieser bewegliche Fuss durch die Streckmuskeln erhoben, verkürzt und nach vorwärts bewegt. Hierbei bietet das Becken den hebenden Muskeln des Schenkels einen Anhalt. Im Wesentlichen sind es nach Haller die bald contrahirten, bald erschlafften Beuger und Strecker des Beines, die unter nothwendiger Annahme eines fixen Punktes die Vorwärtsbewegung des Rumpfes bewirken.

Barthez, der historisch auf Haller folgt, meint, dass durch die Streckkraft kein Sprung erzeugt werden könne; er beschreibt ausführlich die Bewegungen und Drehungen der einzelnen Knochenenden, ohne die Art und Weise anzugeben, wie nun eigentlich die Streckkraft den Schwerpunkt fortbewegt. Die Schritte beim Laufen sind nach ihm meist ebenso gross wie beim gewöhnlichen Gehen, werden aber mit einer viel beträchtlicheren Schnelligkeit wiederholt.

Gerdy hat alle Meinungen seiner oben genannten Vorgänger sorgfältig compilirt, aber wenig Neues und Eigenes hinzugefügt. Das Standbein streckt sich und treibt das Gewicht des Rumpfes auf das andere Bein; derselbe neigt sich,

beginnt nach vorn zu fallen und würde auch fallen, wenn sich nicht das Gangbein ihm sogleich als Stütze böte.

Wesentlich neue, namentlich uns interessirende Gesichtspunkte hat in die Lehre von der Fortbewegung des menschlichen Körpers Poisson hineingebracht, und zwar im zweiten Band seines im Jahre 1833 erschienenen Traité de mécanique. Er berechnet die Grösse der Arbeit eines gehenden Menschen oder Thieres mit Berücksichtigung der Last, die sie tragen oder ziehen, auf einem horizontalen oder geneigten Wege und findet sie gleich dem Product aus der Zahl der Schritte, dem Gewicht des Körpers und der Summe aus der Höhe, um welche der Körper bei jedem Schritte gehoben wird und der Höhe, bis zu welcher ein Körper mit der gegebenen Geschwindigkeit, wenn sie vertical wäre, emporsteigen würde.

Bei dieser Ausführung hat Poisson unberücksichtigt gelassen, dass ein Theil der dem sich bewegenden Körper innewohnenden Geschwindigkeit auch dem nächsten Schritte zu Gute kommt. Die Gebrüder Weber berichtigen in dem gleich zu besprechenden Werke (S. 418) die Rechnungsweise von Poisson, indem sie statt der lebendigen Kraft des bewegten Gesammtkörpers diejenige einsetzen, welche das aufgehobene Bein in der Zeit, wo es schwingt, gewinnt, und in dem Augenblick, wo es auftritt, wieder verliert. Die Allgemeingültigkeit dieser letzteren Rechnungsweise wird dadurch bestätigt, dass sie auch beim Vierfüssler richtige Werthe liefert. O. Kellner hat in seinen Untersuchungen über „Muskelthätigkeit und Stoffzerfall im thierischen Organismus“ [1]) auf diese Weise den Kraftaufwand des Pferdes beim Gehen berechnet. Der eine von uns (Zuntz) und Hagemann [2]) haben diese Rechnungen für drei verschiedene Geschwindigkeiten ausgeführt und gefunden, dass die Resultate fast absolut mit den Zahlen übereinstimmen, welche durch Berechnung des Kraftaufwandes aus der Grösse des Sauerstoffverbrauchs sich ergeben.

Mit dieser kurzen historischen Uebersicht schliessen wir die erste, vorwiegend speculative Epoche der Lehre von der Bewegung ab.

---

[1]) Landwirthschaftl. Jahrbücher. Berlin 1880. Parey.

[2]) Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit. Berlin 1898. Parey. S. 314.

Eine neue Aera für die Physiologie des Stehens und Gehens erstand in dem Moment, als exact messende anatomische Forschung und schärfste mathematisch-mechanische Analyse sich zu ihrer Aufhellung zusammenfanden in dem berühmten Brüderpaar Eduard und Wilhelm Weber. Das Jahr 1836, in welchem ihr epochemachendes Werk: „Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge“ erschien, bedeutet einen neuen Abschnitt, den Beginn der exacten experimentellen Forschung auf dem Gebiete des menschlichen Gehens. An die Stelle blosser Erwägungen setzten sie den exacten physiologischen Versuch, um die zusammengesetzten Bewegungen in ihre einzelnen Theile aufzulösen und diese in Bezug auf Zeit, Raum und Kräfte zu messen, um rein Zufälliges vom regelmässig Wiederkehrenden zu trennen, um Grösse, Gestalt und Verbindung der einzelnen sich gegeneinander bewegenden Glieder des menschlichen Körpers zu erforschen. Das Wichtigste aus dem noch jetzt jugendfrisch anmuthenden Werke der Gebrüder Weber sei, soweit es sich für unsere Zwecke eignet, in Folgendem wiedergegeben.

Der erste Theil stellt die Lehre vom Gehen und Laufen dar. Die Gebrüder Weber trennen hier zunächst die den Körper tragenden Stützen (Beine, Becken, Wirbelsäule) von dem zu tragenden Theil (Rumpf, Arme, Kopf). So wie man einen auf der Hand stehenden, vorwärts geneigten Stab balanciren kann, indem man die Hand mit einer angemessenen Geschwindigkeit in der nämlichen Richtung fortbewegt, in welcher der Stab zu fallen geneigt ist, so balancirt man den Rumpf beim Gehen auf dem kugelförmigen oberen Ende des Schenkelknochens, indem man das Bein so fortbewegt, dass es den Rumpf fortwährend unterstützt. Die Beine können am Rumpfe wie Pendel hin- und herschwingen; die gleichförmige Zeitdauer dieser Schwingungen wird durch die Kraft der Schwere von selbst herbeigeführt, ohne dass unser Wille dazu nöthig ist. Das Wichtigste in der Einrichtung der Beine selbst ist, dass sie sich im Zickzack beugen und dadurch verkürzen, hierauf aber durch Streckung sich wieder verlängern können. Hierzu ist natürlich Muskelkraft erforderlich. Beim Gehen steht eines der beiden Beine als Stütze fest auf, während das andere unter Erschlaffung seiner zum Rumpfe hinaufziehenden Muskeln nach vorn pendelt. Der ganze Zeitraum, wo ein Bein diese beiden aufeinanderfolgenden Zustände durchläuft, ist der Zeitraum zweier auf-

einanderfolgender Schritte; der erste Abschnitt, in welchem das Bein aufsteht, ist bei gleichmässiger Benutzung beider Beine länger als der zweite Abschnitt, in welchem es am Rumpf hängt, und der Unterschied ist desto grösser, je langsamer man geht. — Je geschwinder man geht, desto mehr nähern sich beide Abschnitte der Gleichheit. Das stützende Bein dient beim Vorrücken des Rumpfes auch als Stemmwerkzeug. — Es giebt zwei dem Menschen natürliche Gangarten. Den gravitätischen Schritt, bei welchem der Rumpf sehr grade und am höchsten über dem Erdboden hingetragen wird, und den Eilschritt, bei welchem der Rumpf mehr geneigt in geringerer Entfernung von Boden (also auf gebogenen Beinen) getragen wird. Durch Beobachtung eines Gehenden durch ein mit Mikrometer versehenes Fernglas konnten die Gebrüder Weber erkennen, dass eine vollkommen horizontale Fortbewegung des Rumpfes nicht stattfindet, sondern dass er in der That verticale Schwankungen macht, welche etwa gleich 32 mm für jeden Schritt gefunden wurden.

Die Schwankungen sind kleiner bei grösseren, grösser bei kleineren Schritten. — Es ist fehlerhaft, wenn man zulässt, dass der Rumpf sich beim Gehen bald rechts, bald links drehe. Durch die gleichzeitige Schwingung der Arme, sowie das stemmende Bein kann diese Drehung ausgeglichen werden.

Die allgemeinen Betrachtungen über das Laufen, die nun folgen, sind für unsere Zwecke nicht von gleichem Interesse; erwähnt sei nur, dass das Laufen sich vom Gehen dadurch unterscheidet, dass an die Stelle des Zeitraums beim Gehen, wo beide Beine auf dem Boden stehen, ein Zeitraum tritt, wo kein Bein den Boden berührt.

Der zweite Theil des Weber'schen Werkes bringt eine anatomische Untersuchung der Gehwerkzeuge.

Besonders haben die Gebrüder Weber die damals herrschenden und in manchen Punkten irrigen Ansichten über die Beweglichkeit des Rumpfes in den Wirbel-, wie Hüftgelenken, ferner über den Schwerpunkt des Körpers, sowie die Funktionen der einzelnen Gelenke durch genaue anatomische Untersuchungen, wie durch Messungen der Gelenkwinkel an gesunden und künstlich veränderten Gelenken richtig gestellt. Alle auf die Weise gewonnenen Resultate sind jedem jetzt lebenden Mediciner so in Fleisch und Blut

übergegangen, dass eine kurze Erinnerung an die Hauptpunkte der Weber'schen Untersuchungen genügt, um zu zeigen, wie dieselben noch heute in allen Punkten zu Recht bestehen.

Um die feststehenden Schenkelköpfe dreht sich das Becken, wie eine Tasse zwischen zwei Fingerspitzen, um eine Axe, die durch beide Schenkelköpfe geht. Der Musculus rectus femoris neigt durch seine Zusammenziehung den Rumpf nach vorn, der Semitendinosus und Semimembranosus nach hinten. — Um die natürliche Stellung der Wirbel und der Zwischenwirbelknorpel, sowie die Beckenneigung zu fixiren und zu messen, was am lebenden Körper unmöglich und am Leichnam sehr schwer ist, wurde der Rumpf eines sehr vorsichtig exenterirten Cadavers in Gyps eingegossen und in der Sagittalebene durchsägt. Dadurch liess sich erkennen, wie die Krümmung der Wirbelsäule am Halse und an den Lenden vorzugsweise von der Gestalt der Zwischenwirbelknorpel abhängt; die Krümmung der Wirbelsäule im Rücken rührt dagegen zum grösseren Theil von der Keilform der Wirbelkörper und nur zum kleineren Theil auch von der Keilform der Knorpel her. Die Bewegung der Wirbelsäule erfolgt vermöge einer grossen Zahl weicher und biegsamer Knorpel und der Wirbelgelenke, deren Bau und deren Bewegungsfähigkeit genau untersucht wurde. Die Beugungs- und Streckungswinkel am Rumpf wurden genau gemessen. — Auf der Wirbelsäule ist der Kopf so eingelenkt, dass er auf derselben balancirt.

Die Betrachtungen gehen dann über auf die Arme, die Beine, bei denen die Befestigung des Oberschenkelkopfes durch den Luftdruck, sowie die Möglichkeit der Pro- und Supination des Unterschenkels nur in der Beugung besondere Hervorhebung verdient, ebenso wie die Bestimmung des Schwerpunkts, die Borelli ja nur ungenau (inter nates et pubin) ausgeführt hatte. Gebrüder Weber bedienten sich zwar der Borelli'schen Methode, indess verschoben sie behufs Aequilibrirung nicht das Brett mit dem daraufliegenden Körper zugleich, sondern letzteren allein, während das Brett vorher, ehe der Körper darauf lag, ins Gleichgewicht gebracht war; sie wiederholten die Messung, nachdem der Körper herumgedreht war. Das Mittel aus beiden Messungen ergab die wahre Lage des Schwerpunkts. Sie fanden denselben 87,7 mm über der beide Schenkelköpfe verbindenden Drehungsaxe.

Ein besonderes Kapitel ist der Neigung des Beckens gegen den Horizont gewidmet, über die zu jener Zeit noch manche falsche Auffassung verbreitet war, der unter Anderem auch der „horizontale“ Ast des Schambeins und der „aufsteigende“ des Sitzbeins seine unzutreffende Bezeichnung verdankt. Gebrüder Weber fanden die Neigung des Beckens gegen den Horizont zu 62°. Es lässt sich die richtige Beckenneigung leicht dadurch herstellen, dass man das Becken mit der Pfanne so aufstellt, dass die Incisura acetabuli den tiefsten Punkt darstellt.

Die anatomische Untersuchung des Hüftgelenks ergab im Gegensatz zu früheren Autoren, dass der Schenkelkopf die Pfanne voll ausfüllt, sowie die hochbedeutsame Thatsache, dass der Schenkelkopf nicht vom Rande der Pfanne zurückgehalten wird, sondern durch den Luftdruck, wobei das Labrum cartilagineum die Dienste eines Ventils leistet.

Bei der anatomischen Ergründung des Kniegelenks stiessen die Gebrüder Weber auf die bis dahin wenig beachtete Thatsache, dass der Unterschenkel nur bei gebeugtem Knie pronirt und supinirt werden konnte, eine Bewegung, die bei gestrecktem Knie unmöglich ist, und die dadurch zu Stande gebracht wird, dass — im Gegensatz zu einem Charniergelenk, wie es das Ellenbogengelenk ist — die Knorren des Oberschenkels sich auf der geradezu ebenen Gelenkfläche des Schienbeins bewegen, wie die Räder eines Wagens auf dem Boden, und dass bei der spiraligen Construction der Oberschenkelknorren die Seitenbänder des Kniegelenks bei der Streckung sich anspannen und die Pro- und Supination hindern.

Der gerade an dieser Stelle am meisten interessirende Theil des Weber'schen Buches ist der dritte, welcher die physiologische Untersuchung des Gehens und Laufens abhandelt. Die Hauptdaten dieser Untersuchung haben wir schon in die anatomischen Auseinandersetzungen eingeflochten.

Die Gebrüder Weber bestimmten die Schrittdauer aus der Zeit des Gehens, dividirt durch die Zahl der Schritte, ferner mit der Tertienuhr die Zeit des Aufstehens der Beine. Der auf dem Boden stehende Fuss drückte ein Brett nieder, welches den Gang einer Tertienuhr während des Aufstehens auslöste. Hierdurch gelangten sie wieder zur Bestimmung der Dauer der Schwingung eines Beins. Directe Messung des Weges führte auch nach Division durch die Schrittzahl

zur Festsetzung der Schrittlänge. Voraussetzung war hierbei, dass ein Schritt dem anderen gleich war.

Als für uns besonders wichtig möchten wir an dieser Stelle noch hervorheben, dass die Brüder Weber fanden, dass die Hebung des hinteren Fusses vom Fussboden durch eine Beugung des Knies bewirkt wird, während der Fuss und die Zehen ausgestreckt bleiben. Die Hebung der Ferse betrug 173 mm.

Zum Schluss sei noch ein beherzigenswerther Satz aus der Vorrede des Werkes angeführt, welcher das praktische Ziel aller Forschungen über den menschlichen Gang scharf aufzeigt und stets da citirt werden sollte, wo etwa sogenannte Schönheitsrücksichten zu Gunsten unphysiologischer Marschweisen geltend gemacht werden: „Das Princip, nach welchem allein die Regeln der Gehbewegungen hergeleitet werden können, ist offenbar das der geringsten Muskelanstrengung, durch welche der Zweck des Gehens bei gegebenem Bau des menschlichen Körpers und unter gegebenen äusseren Verhältnissen zu erreichen möglich ist.“

Die Weber'schen Versuche blieben lange Jahre das Einzige, was über die Physiologie des Gehens veröffentlicht wurde. Erst im Jahre 1872 trat Carlet in seinem Essai experimental sur la locomotion humaine mit neuen Untersuchungen hervor, nachdem inzwischen sein Lehrer Marey die selbstregistrirende Methode den Physiologen leicht zugänglich gemacht hatte. Unter den Sohlen des Marschirenden, und zwar für Ferse und Ballen, brachte Carlet dickwandige Kautschukballons an, die durch einen Schlauch und daran anschliessende Lufttrommeln mit Hebeln in Verbindung standen, welche ihrerseits wieder ihre Bewegungen auf einem berussten rotirenden Cylinder aufzeichnen konnten. Mit Hülfe dieser Methode gelang es Carlet, genau die Zeit zu messen, während welcher die Ferse oder der Sohlenballen den Boden berührte. Auch die Bewegung des Rumpfes nach oben und unten wie nach den Seiten glückte Carlet aufzuzeichnen und zu berechnen.

In seinem weltberühmten Buch „Le Mouvement“ [1]) behandelt Marey diesen Gegenstand selbst ausführlich, auch unter Anwendung seines Odographe fixe (p. 127), eines Schreibapparates, der im Laboratorium auf elektrischem

[1]) Paris 1868.

Wege eine Reihe von Punkten registrirte, an welchen sich ein auf einer kreisrunden und 500 m langen Marschirbahn sich bewegender Versuchsmensch befand. Diese Unterbrechungsstellen — dargestellt durch bewegliche Hebel, welche die Laufbahn scheinbar versperrten — folgten einander von 50 zu 50 m. Das Marschtempo wurde durch eine regulirbare elektrische Uhr mit Glocke angegeben.

Die Gebrüder Weber hatten die Erfahrung gemacht, dass die Länge des Schrittes mit der Schnelligkeit des Marschirens wachse. Wäre dieses Gesetz bedingungslos richtig, so würde es genügen, um den Marsch einer Truppe zu beschleunigen, wenn der Tambour, der das Marschtempo angiebt, schneller und schneller schlüge. Dieses Weber'sche Gesetz ist nun, wie Marey's Versuche mit seinem Wegmesser erwiesen, nur bis zu einer gewissen Grenze richtig: Die Länge des Schrittes nimmt zu bei einer Schnelligkeit von 40—75 Schritten[1]) in der Minute, bei weiterer Steigerung der Geschwindigkeit aber nimmt sie ab und bei 85 Schritten in der Minute vermindert sich auch die Schnelligkeit des Fortschreitens.

Diese höchst wichtige Erfahrung konnte Marey an einer grossen Zahl Soldaten der verschiedensten Körperlänge, mit und ohne Gepäck, an trainirten und untrainirten Mannschaften, sowie auch in ebenem wie in welligem Gelände immer aufs Neue bestätigen.

Durch seine, auch von Carlet benutzte Methode der Registrirung mittels derber Kautschukballons in den Sohlen des Marschirenden zeigte Marey auf das Klarste, dass bei unbehindertem Marsch auf ebener Fläche der eine Fuss den Boden in dem Moment verlässt, wo der andere sich aufsetzt. Beim Tragen einer Last oder auf unebenem Boden oder beim Ersteigen einer Treppe erleidet diese Beobachtung eine Berichtigung: In diesen Fällen verlässt das „stützende" (pied à l'appui) Bein nicht eher den Boden, als bis das andere schon eine Weile sich aufgesetzt hat; es besteht also eine mehr oder weniger lange Zeit, wo beide Füsse aufstehen.

Diese Beobachtung griff Demeny (Marey Seite 131) auf. Er gelangte dadurch, dass er die Marey'sche Luftübertragung des Kautschukballons durch electrische Contacte ersetzte zu genaueren Zahlen, die bewiesen, dass auch bei unbelastetem

[1]) Doppelschritte.

Marschirenden in Uebereinstimmung mit den Angaben der Brüder Weber ein kurzer Zeitraum existirt, wo beide Füsse den Boden berühren und dass diese Periode sich mit der Anstrengung des Marschirenden verlängerte. Wäre das Letztere richtig, so hätten wir in der Länge dieses Zeitraums einen Maassstab, der uns gestatten würde, direct und auf sehr einfache Art die „Ermüdung" zu messen. Ob diese Methode jemals zu diesem Zweck ausgebeutet wurde, konnten wir aus der Litteratur nicht in Erfahrung bringen.

Besondere Verdienste um die Physiologie der Bewegung hat sich Marey erworben durch die Einführung der Photographie der einzelnen Phasen der Bewegung, eine Methode, welche, nachdem die unbewegliche photographische Platte (Plaque fixe) Marey's durch die bewegliche, sehr schnell (bis über 60 mal in der Sekunde) wechselnde ersetzt werden konnte, zu den Wundern der „Kinetophotographie" der jüngsten Zeit führte. Hierdurch gelingt es — wenn wir von der Synthese der Einzelphotogramme zu „lebender Photographie" hier absehen wollen —, aus einer Bewegung so kurze Zeiträume zu fixiren, dass das Bewegte scheinbar stille steht und so leicht behufs wissenschaftlicher Verwerthung ausgemessen werden kann.

In die Zeit, in welcher von den ersten Marey'schen selbstregistrirenden Versuchen die Kunde von den Bewegungen bis auf die hohe Stufe der „lebenden Photographie" sich erhob, fallen noch eine Reihe von Untersuchungen, die auf anderen oder ähnlichen Wegen zur Analyse der Locomotion führen sollten und geführt haben.

In erster Linie ist Vierordt zu nennen, welcher in seinem Buch „Das Gehen des Menschen in gesunden und kranken Zuständen"[1]) sich als Aufgabe stellte (S. 6.)

1. die graphische Darstellung der Gehbewegung im Raum, und
2. die Messung der zeitlichen Verhältnisse in den Einzelphasen des Gehens.

Vierordt brachte an starksohligen, gut anschliessenden Filzschuhen 3 Markirpunkte an; das sind Metallcylinderchen, deren unteres Ende mit Watte verschlossen und deren Höhlung für den rechten Fuss mit Fuchsin, für den linken mit Anilinblau gefüllt war. Bei diesem „Abdruckverfahren"

[1]) Tübingen 1881.

wurden von jedem sich aufstellenden Fuss 3 Punkte auf der Papierbahn gewonnen, einer hinten an der Ferse und zwei innen und aussen am Fuss in der Höhe der Köpfchen der Mittelfussknochen. Neben diesem Abdruckverfahren bediente sich Vierordt zu seinem Zweck noch der „Spritzmethode", durch welche die wirklichen Bewegungen des Beines unmittelbar aufgezeichnet werden konnten. Kleine Messingcylinderchen trugen in diesem Falle eine feine Ausflussspitze und spritzten beim Gang die Flüssigkeit in Linien und Curven auf die Unterlage; solche Cylinder befestigte Vierordt auch an den Oberschenkeln und Händen zum Aufzeichnen der Bewegung derselben; auch horizontal konnten die Röhrchen angebracht werden, um ihre Flüssigkeit gegen eine senkrecht stehende Papierwand zu entleeren.

Vierordt fand mittels dieser Methoden innerhalb der einzelnen Zeitphasen des Gehens so constante, wenn auch gewöhnlich nur geringe Schwankungen der Einzelwerthe in Bezug auf Schrittdauer, Dauer der Schwingung, des Aufstehens, des gleichzeitigen Stehens auf beiden Beinen, dass er in diesem Verhalten die Norm erblickte. Im Gegensatz dazu traf er beim Studium des Parademarsches, den sein Freund Premierlieutenant St. ausführte (S. 132), „eine Exactheit des Ganges, wie sie bei gewöhnlichem, ungezwungenem Gehen nie gefunden wird. Die Schrittdauer beider Beine ist gleich gross, die Doppelschritte sind ebenfalls von nahezu gleicher Dauer. Fast ebenso unmerklich sind die Differenzen beim Aufstehen eines Beines, Schwingen, Abwickeln der Sohle. Wenn die Gebrüder Weber betonen, dass das Schwingen des Beines nach den Gesetzen der Pendelbewegung zur Gleichmässigkeit der Schritte wesentlich beitrage, so ist hier beim Parademarsch hervorzuheben, dass diese mit augenscheinlicher Muskelanstrengung verbundene Gangart, wo von einem eigentlichen Pendeln des Beines garnicht die Rede sein kann, ganz besonders gleichmässig erscheint."

Sehr viele Nachprüfer hat die Vierordt'sche Abdruck- und Spritzmethode nicht gefunden. Vielmehr gestalteten die Verfasser der neuesten Reihe bedeutender Untersuchungen über das Gehen, Braune und Fischer[1]), die Marey'schen und Carlet'schen Versuchsanordnungen für ihre Zwecke praktisch

---

[1]) Veröffentlicht in den Abhandl. d. mathem.-phys. Klasse d. Kgl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch.

und erfolgreich um. Auch sie benutzten die Momentphotographie. Um eine Reihe von Phasen der Fortbewegung eines Menschen auf der photographischen Platte festzuhalten, brachten sie, ähnlich wie es schon Marey that, an den Gliedmassen und am Kopf einer in schwarzes Tricot gehüllten Versuchsperson Geissler'sche Röhrchen an, die durch einen Unterbrecher 26 mal in der Sekunde mittels des durchgeleiteten secundären Stroms eines Ruhmkorff zum Aufblitzen gebracht werden konnten. Diese Blitze im dunklen Zimmer verlangten nur minimalste Expositionszeit, da die Dauer eines elektrischen Funkens nach Wheatstone noch nicht den 1 152000 sten Theil einer Sekunde beträgt und die Helligkeit des Funkens der Geissler'schen Röhren eine sehr beträchtliche ist. Zugleich mit der Versuchsperson wurde als Maassstab ein 1 qm grosses Drahtnetz in Quadratcentimetereintheilung mit photographirt.[1])

In dieser Weise wurden zwei Versuchsserien angestellt, ohne Belastung der Versuchsperson; vor der dritten Versuchsreihe wurde dieselbe mit dem vom Königlichen 8. Infanterie-Regiment Prinz Johann Georg No. 107 zur Verfügung gestellten, vorschriftsmässig gepackten Tornister, den 3 mit scharfen Patronen gefüllten Patronentaschen und dem Gewehr Modell 88 in der Haltung „Gewehr über" belastet. Dieser Bewegungsvorgang des unbelasteten und belasteten Menschen wurde dann auf ein räumliches rechtwinkliges Coordinatensystem bezogen. Auf diese Weise konnte eine Reihe von Gesetzmässigkeiten festgestellt werden, wie Drehungen der Hüft-, Schulter- und Rumpflinie. Auch Ungleichmässigkeiten im Verhalten der beiden Körperseiten kamen an das Tageslicht, wie z. B. ein asymmetrisches Verhalten der beiden Beine beim Aufsetzen, ebenso wie sich bei scheinbar genau symmetrisch und normal gebauten Menschen in den Knochen der rechten und linken Körperhälfte namhafte Längendifferenzen nachweisen liessen, und zwar bis zu 1 cm, Unterschiede, die selbst bei angespanntester Aufmerksamkeit beim Gang nicht zu entdecken waren.

In dem 2. Theil von „Der Gang der Menschen" hat Fischer die Bewegung des Schwerpunktes im Raum bestimmt, nachdem er schon im Jahre 1889 in Gemeinschaft mit Braune[2]) an

---

[1]) Der Gang des Menschen. I. Theil. 1895.
[2]) Ueber den Schwerpunkt des menschlichen Körpers. 1889.

gefrorenen Leichentheilen und ganzen Leichen den Schwerpunkt der einzelnen Gliedmaassen wie des ganzen Cadavers in der Ruhe ermittelt hatte. Als Methode benutzten sie zunächst die Aufhängung des — gefrorenen und mit Eisenstäben durchbohrten — Cadavers in zwei Richtungen wie auch seiner einzelnen Theile. So konnten sie einmal die Schwerpunkte aller Glieder, wie auch denjenigen des ganzen Cadavers construiren. Sie untersuchten dann weiter, ob diese so construirte Stellung auch im Leben vorkommt. Sie thaten dies an einem muskelkräftigen nackten Soldaten, welchen sie in Profilansicht photographirten, nachdem vorher die Gelenkmittelpunkte auf die Körperoberfläche aufgetragen waren, wie bei den Constructionsbildern, und nachdem der Schwerpunkt des Körpers auf die Seitenfläche projicirt und markirt worden war. Zwei mitphotographirte, an einem Rahmen befestigte Senkelfäden bezeichneten die Unterstützungsebene, mit welcher alle markirten Gelenkpunkte einvisirt wurden. Der Mann musste so lange seine Stellung ändern, bis dies eintraf. Beim Vergleich dieses so gewonnenen Bildes mit dem construirten zeigt sich eine gute Uebereinstimmung, namentlich entsprach der Aufbau der unteren Extremitäten, die Haltung des Beckens und des Kopfes vollkommen dem Constructionsbild. Von dieser Normalstellung wich nun die Schwerpunktslage am lebenden Körper bei verschiedenen Haltungen desselben und bei verschiedenen Belastungen nicht unwesentlich ab, wie schon ein Vergleich der verschiedenen photographischen Bilder sofort und klar erkennen lässt. Die Bekleidung des Soldaten musste hierbei natürlich vollständig ausfallen, um die Körperformen und die Gelenkmarken deutlich zur Anschauung zu bringen. Im Uebrigen aber wurde die Versuchsperson mit der vollständigen kriegsmässigen Ausrüstung belastet. Braune und Fischer fanden die Schwerpunktslage

bei der bequemen Haltung 7,3 cm höher und 0,8 cm hinter der Verbindungslinie der Hüftgelenksmittelpunkte liegend;

bei der militärischen Stellung ohne Gewehr 4,7 cm höher und 0,7 cm hinter derselben;

bei der militärischen Stellung mit präsentirtem Gewehr 5,6 cm höher und 1,5 cm davor;

bei der militärischen Stellung mit vorgestrecktem Gewehr 10,0 cm höher und 7,7 cm davor;

bei der militärischen Stellung mit vollem Gepäck und Gewehr über 10,5 cm höher und 1,6 cm dahinter.

Mit den Arbeiten Braune's und Fischer's, auf welche wir bei Berechnung des Energieverbrauchs des Marschirenden noch zurückkommen werden, ist die Reihe der hervorragendsten Arbeiten abgeschlossen, die das Gehen des Menschen vom anatomisch-mechanischen Standpunkt aus untersuchten. Von Fischer sind nach dem Tode Braune's diese Studien bis in die neueste Zeit fortgeführt und immer mehr vertieft, die Bewegungen der einzelnen Gliedmaassen bis in die feinsten Einzelheiten aufgelöst und durch genaue und mühsame Rechnungen zahlenmässig bestimmt worden.

Wenn auch zu ganz anderen Zwecken angestellt, verdienen hier noch die Untersuchungen Mosso's über die Verschiebung des Körperschwerpunktes durch die Athem- und Herzbewegung Beachtung. Sie erklären vielleicht einen Theil der Unregelmässigkeiten, welche Braune und Fischer bei ganz normal gebauten und wohl geübten Menschen im Ablauf der einzelnen Schritte beobachtet haben. Mosso bediente sich bei seinen Versuchen der Borelli'schen Schwerpunktsbestimmung, deren Technik er aber ausserordentlich verfeinerte.

Wir dürfen wohl sagen, dass durch diese Arbeiten die anatomisch-mechanische Erforschung des Marsches zu einer grossen Vollendung gediehen ist und dass auf diesem Gebiete hauptsächlich Detailarbeit noch zu erledigen ist.

Inzwischen aber tauchten neue Probleme auf, die den Arzt wie den Offizier nicht minder interessiren, als die eben skizzirten: Die Frage nach dem Zusammenhang zwischen den mechanischen Leistungen und dem Stoffwechsel des Körpers. Das Mayer-Helmholtz'sche Princip von der Erhaltung der Energie hatte erkennen lassen, dass strenge Gesetzmässigkeiten zwischen den mechanischen Leistungen und der Grösse des Stoffumsatzes im Muskel bestehen müssen.

Den Weg, auf welchem diese Beziehungen studirt werden können, hat wohl als erster Smith[1]) uns gewiesen. Er maass die mit den Marschleistungen einhergehende Kohlensäure-Ausscheidung, um daraus einen Maassstab für die Grösse

[1]) Smith, Philosophical Transactions 1859. p. 715: Proceedings of the royal Soc. IX. No. 34. 1859.

des Stoffwechsels zu haben. Verwerthbarere Resultate erzielte später Speck[1]) in Bezug auf den Zusammenhang zwischen Muskelthätigkeit und Stoffwechsel. Er ist wohl auch der erste, der die mit dem Harn ausgeschiedenen Stoffwechselproducte und die Athemgase untersuchte und den Antheil beider Ausscheidungswege am Stoffwechsel der Muskeln feststellte. Speciell für den Marsch hat er keine Versuche angestellt.

Die ersten exacten Versuche über die Grösse des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäure-Ausscheidung beim Gehen des Menschen machte Katzenstein. Seine, von dem einen von uns (Z.) geplante und controlirte Arbeit maass den Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäure-Ausscheidung beim horizontalen Marsche und beim Bergaufsteigen. Aus dem Mehrverbrauch in letzterem Falle konnte der Sauerstoffverbrauch für ein Meterkilogramm mechanischer Arbeit, und hieraus wiederum und aus dem Sauerstoffverbrauch beim horizontalen Gang die auf letzteren verwendete Muskelarbeit berechnet werden. An der Hand dieser Berechnung hat Zuntz schon vor Jahren gewisse falsche Annahmen, nach welchen Demeny aus seinen und Marey's experimentellen Ergebnissen die Muskelarbeit beim Gehen berechnet hatte, aufgedeckt und damit auch die Ergebnisse Demeny's berichtigen können. — Wir werden in der vorliegenden Arbeit noch ein grosses Material zur Berechnung des Aufwandes von Muskelenergie beim Marsche unter verschiedenen Bedingungen beibringen und dasselbe mit den vorher kurz skizzirten Resultaten der anatomisch-mechanischen Studien vergleichen.

Nachdem in den letzten Jahrzehnten der Sinn für körperliche Uebungen und den Sport sich auch in Deutschland mehr und mehr ausgebreitet hat, ist man auch in wissenschaftlichen Kreisen aufmerksamer geworden auf die systematische Gewöhnung des Körpers an Anstrengungen, kurz auf das „Training." Die ausführlichste und viel genannte Arbeit über das Training rührt von G. Kolb her, der angehender Arzt und Sportsmann zugleich war. Sie ist frisch, anziehend und farbenreich geschrieben, vielfach merkt man allerdings, dass genügende wissenschaftliche Vorarbeiten fehlen. Kolb entwickelt zunächst für das Rudern sehr

[1]) Speck, Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausathmung des Menschen. Schriften d. Gesellsch. zur Bef. d. ges. Naturw. zu Marburg. Bd. 10. 1871.

interessante Versuchsanordnungen zum Messen von Respiration, Pulsfrequenz und -beschaffenheit, Geschwindigkeit des Bootes, Steuerbewegungen meist mittels selbst registrirender Apparate. Nach ihm besteht das Training „in einer physiologischen Aenderung des Körperhaushaltes der Art, dass das Fettpolster zum grössten Theil schwindet, Ernährung und Verbrauch, Circulation und Gaswechsel sich vergrössern, Herz und Respirationsmusculatur vorübergehend hypertrophieren“ bei sinkendem Blutdruck und sinkender Respirationsfrequenz . . . . Die Ermüdung beim Rennen tritt ein in erster Linie durch Versagen der Respiration. Herzerkrankungen sind nach Kolb bei Rennruderern selten.

Jedenfalls gebührt Kolb das Verdienst, zuerst das Training einer wissenschaftlichen Untersuchung zugänglich gemacht zu haben.

Speciell für Offiziere und Militärärzte hat dann der bayrische Oberstabsarzt Leitenstorfer in seinem Buch „das militärische Training“ die physiologischen Vorgänge im Körper des Soldaten während der Rekrutenzeit besprochen und gedeutet und auch der Ermüdung und den Ermüdungsformen einen kurzen Abschnitt gewidmet: In ihm unterscheidet er eine Ermüdung des Muskels, der Lungen, des Herzens, die wahre oder die Nervenermüdung, die Neurasthenie oder das Uebertrainirtsein (Overtraining). Zu den Zeichen der Ueberanstrengung rechnet er dann die Herzdehnung beim Heben schwerer Lasten und forcirten Tauchen, Halb- und Ganzlähmungen solcher Nerven, welche eine plötzlich oder chronisch missbrauchte Muskelgruppe versehen, Gelenk- und Sehnenschmerzen, Krämpfe der Muskeln. Sowohl der wissenschaftliche wie der praktische Theil der Anatomie und Physiologie der Bewegungsorgane, sowie der Abschnitt über die Wirkung und den Zweck bestimmter Turnübungen und namentlich der 3. Theil, welcher das Training des Einzelnen und der Truppe behandelt, sind lebhaft, eigenartig und geistvoll abgefasst und werfen streng kritische Streiflichter auf manche Missstände. Neu und der Nachprüfung werth ist die von Leitenstorfer benutzte Methode der „Kephalographie“ zur Bestimmung des Grades der Ermüdung und des Trainirtseins. Die „Kephalogramme“ sind, nach dem Vorbild der Vierordtschen Deckenfiguren, dadurch hergestellt, dass durch die Helmspitze des zu controlirenden Mannes die Curven direct auf einen Bogen berussten Papiers, der über dem Helm schwebend

aufgehangen war, aufgezeichnet wurden. In der That zeigen die der Arbeit beigegebenen Kephalogramm-Tafeln deutlich, wie geübte Leute kleinere, nicht trainirte Rekruten grössere Figuren auf den berussten Bogen zeichnen. — Mit dem Marsch als solchem beschäftigt sich das Leitenstorfer'sche Buch nicht weiter.

In der ausländischen Litteratur ist manches über das Training zu finden.

Der Surgeon-Major der englischen Armee Arthur Davy unterzieht in einer Zusammenstellung mehrerer von ihm verfassten Arbeiten, die er unter dem Titel „The breakdown of young soldiers under training" vereinigt, das im Anfang der 80er Jahre in England herrschende System der Ausbildung der jungen Soldaten einer strengen, aber wohl etwas einseitigen Kritik, indem er dasselbe verantwortlich macht für die Entstehung von Lungen- und Herzkrankheiten. Ueber die sehr subjectiv gehaltene Beweisführung können wir hier hinweggehen.

Eine fleissige Zusammenstellung aller auf den militärischen Marsch bezüglichen Erfahrungen bringt die 1893 erschienene Abhandlung des Médecin-Major de 1. classe M. Cortial „de la Marche au point de vue militaire."

Nach einleitenden physiologischen Bemerkungen über die Arbeit und Ermüdung bringen die folgenden Kapitel Betrachtungen über die Zweckmässigkeit der einzelnen Kleidungsstücke und die Ernährung, über die Länge der Märsche und deren Schnelligkeit, den Einfluss der Ruhe, schliesslich über Marschkrankheiten, namentlich über den Hitzschlag. Ueberall sind gut gewählte Beispiele aus der Kriegsgeschichte eingestreut, überall wird als Autorität der bekannte französische Militärhygieniker Kelsch angeführt. Indess bringt die Arbeit doch nur Erfahrungen aus der Praxis, eine wissenschaftliche Bearbeitung irgend welcher Kapitel hat nicht stattgefunden.

An derartigen, der Praxis entsprungenen, nennen wir sie marschhygienischen Werken, ist auch die deutsche Litteratur nicht arm; nach der Abtrennung der Hygiene von der Medicin als selbstständige Wissenschaft häuften sich marschhygienische Untersuchungen mit dem raschen Fortschreiten dieser jungen Disciplin. Am ausführlichsten finden sich solche Kapitel in der ehrwürdigen, aber noch immer eine ergiebige und frische Quelle für jeden Wissensdurstigen darstellenden Militärhygiene von Roth und Lex.

Hier finden wir die noch jetzt geübte Eintheilung der Märsche von verschiedenen Gesichtspunkten aus in Reisemärsche und Kriegsmärsche in der Nähe des Feindes (mit Sicherung), in Tag- und Nachtmärsche, in gewöhnliche und Eilmärsche; hier sind aufgezeichnet die empirisch gewonnenen Schrittmaasse, die Marschlängen und die Dauer der Pausen, die Länge der Marschkolonnen, hier stossen wir auf Bemerkungen über den Zustand der Wege, über die Witterung, die Verpflegung, die Marschdisciplin, über Marschkrankheiten, ihre Behandlung und ihre Prophylaxe.

In der neueren Zeit hat die Hygiene des Marsches besonders in Martin Kirchner (Grundriss der Militärgesundheitspflege 1896 S. 1129) einen berufenen Bearbeiter gefunden. Ausgehend von dem Werth und den Gefahren der Arbeit tritt er in eine specielle Besprechung der einzelnen Dienstverrichtungen ein, von der wir das auf den Marsch Bezügliche hier hervorheben wollen:

Beim Parademarsch soll Kopf und Rumpf möglichst unbeweglich gehalten und jeder Schritt fest und stramm gemacht werden. Die Kniee werden stärker gehoben, die Fussspitzen schneller und höher herausgebracht, die Sohlen fester aufgesetzt als bei gewöhnlichem Marschiren. Die hierdurch bedingte Muskelanstrengung geht mit einer nicht geringen geistigen Anspannung einher, da neben gerader Bewegung nach vorwärts auf Einhaltung einer genauen Richtung der Reihe und auf unveränderten Anschluss an den Nebenmann zu achten ist. Uebungen in Parademarsch sind daher sehr ermüdend für die Truppe.

Dies gilt in noch höherem Grade von der Vorübung zu demselben, dem sogenannten langsamen Schritt, bei dem der Gang in einzelne Theile zerlegt und nach Zählen gemacht wird; das active Bein muss allein Secunden lang die Körperlast tragen, das passive Bein wird nach dem Schwingen nach vorn vor dem Aufsetzen Secunden lang mit ausgestreckter Fussspitze schwebend gehalten, der Schritt wird ausserordentlich lang und langsam. . . . . Die damit verbundene Anstrengung ist ausserordentlich gross und führt leicht zur Ueberbürdung.

Interessant ist der Vergleich der Schrittzahl beim Marschiren bei den verschiedenen Nationen.

„Im deutschen Heere werden in der Minute 114 Schritt bei gewöhnlichem Marsch, 120 beim Sturmschritt und 175 beim Laufschritt gemacht. Im belgischen Heere beträgt die Schrittzahl 110, im österreichisch-ungarischen 118, im italienischen und englischen 120. Im französischen Heere wird der Marsch mit 120 Schritt begonnen und allmählich bis auf 125 bis 135 (pas accéléré) gesteigert, beim Rückmarsche aber über 120 nicht hinausgegangen . . . ., die Geschwindigkeit beim Sturmmarsch beträgt 140, beim Laufschritt (pas gymnastique) 170.

Die Schrittlänge beträgt im deutschen Heere bei Marsch- und Sturmschritt 80, beim Laufschritt 100 cm, diejenige des Marschschrittes

in Oesterreich-Ungarn, Frankreich, Italien, der Schweiz, Belgien und Schweden 75, Russland 71 cm. diejenige des Laufschrittes in Frankreich 86 cm."

Wir dürfen diesen historischen Abschnitt nicht abschliessen, ohne einige wichtige Marschvorschriften aus der deutschen Felddienstordnung vom 1. Januar 1900, dem Muster einer Dienstvorschrift, aus der wir schon einige Sätze an die Spitze dieses Buches gestellt haben, anzuführen.

21. Allmähliche Steigerung der Marschleistung ist bei den Uebungen im Auge zu behalten. Die Belastung von Mann und Pferd beginnt frühzeitig und wächst schrittweise bis zur vollen Kriegsausrüstung. Diese Uebungen sollen auch Offiziere und Unteroffiziere beurtheilen lehren, welche Leistungen von dem vollbelasteten Mann und Pferde gefordert werden können . . . . Die Marschausbildung des Rekruten beginnt frühzeitig und ist schrittweise so zu steigern, dass er allmählich an die volle Kriegsausrüstung gewöhnt wird. Hierzu gehört ein wohl durchdachtes, den besonderen Umständen (Dienstperioden, Witterung, Geländeverhältnisse u. s. w.) von Fall zu Fall angepasstes Fortschreiten. Der Infanterist muss in den Beurlaubtenstand das Selbstvertrauen mitnehmen, den Marschanforderungen des Krieges gewachsen zu sein.

29. . . . . Uebungen im nächtlichen Marschiren sind daher wichtig . . .

304. Auch die im Frieden im Marschiren vorzüglich ausgebildete Truppe leidet darunter, dass sie mit der Mobilmachung Mannschaften erhält, die der Anstrengung entwöhnt sind. Sie muss daher jede Gelegenheit zur Marschgewöhnung wahrnehmen . . . .

312. Der grösste Feind der marschirenden Truppe ist die Hitze. Die Anstrengungen, die sie namentlich der Infanterie auferlegt, deren Reihen sie in kurzer Zeit lichten kann, verlangen wohlbedachte Vorsichtsmaassregeln.

313. Zu den wirksamsten gehört das geordnete Trinken während des Marsches ohne längere Rast.

314. Fahren der Tornister gewährt bedeutende Erleichterung und steigert die Marschleistung.

324. Dem lästigen Stocken der Colonne und ermüdenden Nacheilen hinterer Truppen muss ferner durch gleichmässige Marschgeschwindigkeit vorgebeugt werden.

325. Grössere Truppenverbände brauchen bei grösseren Entfernungen unter günstigen Verhältnissen für das Kilometer einschliesslich der für gewöhnlich erforderlichen Halte etwa 15 Minuten. Allein marschirende kleinere Truppentheile können, besonders auf kurze Strecken, weit höhere Geschwindigkeit erzielen. Für grössere Verbände und längere Entfernungen ist eine Steigerung der gewöhnlichen Marschgeschwindigkeit nur selten von Werth.

329. Ausser einem kurzen Halt bald nach Beginn verlangt jeder Marsch je nach Länge und Witterung ein- oder mehrmaliges Rasten. Ein einmaliges wird zweckmässig nach dem grösseren Theil der zurückzulegenden Strecke, mehrmaliges etwa in 2 Stunden eingelegt.

331. Nach Maassgabe der Witterung sind möglichst Schatten und Luftzutritt gewährende, andererseits gegen Unwetter schützende Stellen auszuwählen.

332. Die Mannschaften verbleiben auch beim Erscheinen höherer Vorgesetzten in der Ruhe, sofern sie nicht angesprochen oder gerufen werden.

336. . . . . Steht ein solcher (Zusammenstoss mit dem Feinde) nicht in Aussicht, so gestattet der Marsch als Reisemarsch alle Rücksichten auf Schonung der Truppen. Wesentliche Erleichterung gewährt Marschiren in kleinen Verbänden oder einzelnen Truppentheilen. Je grösser die Marschcolonne ist, desto häufiger und empfindlicher treten Stockungen ein und desto grösser wird die Gefahr der Hitze. Sie kann für den Reisemarsch zum Zerlegen in die kleinsten Abtheilungen nöthigen.

347. Nachtmärsche können durch Rücksicht auf den Feind oder Eile bedingt werden, ausnahmsweise in besonders heisser Jahreszeit auch an die Stelle der Tagesleistung treten. Immerhin sind sie mit dem Uebelstande verknüpft, dass sie die Kräfte der Truppen im gesteigerten Maasse in Anspruch nehmen.

348. Ruhetage treten im Kriege nicht regelmässig ein, auch in grösserem Abstande vom Feinde darf man selbst auf solche Ruhetage, die im Voraus angesetzt waren, nicht mit Sicherheit rechnen. Daher muss jede Zeit zur Erholung von Mann und Pferd, wie zum Instandsetzen der Waffen, Ausrüstung und Bekleidung verwendet werden. Längere Ruhepausen sind auch für die Ausbildung nutzbar zu machen.

Werfen wir nun einen Rückblick auf die bisher erwähnten Arbeiten, so geht unzweideutig daraus hervor, dass sowohl unsere Kenntniss von der anatomischen Zusammensetzung der Bewegungsorgane und von deren physiologischer Wirkung, als auch die practische Erfahrung auf dem Gebiet der Marschhygiene auf eine recht hohe Stufe gelangt ist.

Nur eine Frage bleibt bei allen Autoren wissenschaftlich und namentlich zahlenmässig unbeantwortet, das ist diejenige nach der Grenze der Leistungsfähigkeit des Soldaten auf dem Marsche. Diese Frage lässt sich nicht einheitlich kurz beantworten. Die Leistungsfähigkeit des marschirenden Soldaten hängt eben von vielen Bedingungen ab, von der Entwickelung seines Körpers im Allgemeinen, seiner Beschaffenheit und der Stimmung gerade an dem Marschtage, von der Witterung, namentlich der Temperatur, vor allem aber von der Bekleidung und Belastung des Mannes. So lange es deshalb gut organisirte Heere giebt, so lange ist es das Sinnen und Trachten jedes Truppenführers gewesen, wie er das Gepäck, das impedimentum, den Hemmschuh der Beweglichkeit des Truppenkörpers verringern und damit die Leistungsfähigkeit desselben erhöhen könne.

Im Frühjahr 1894 wurde in Deutschland die Frage nach Erleichterung der Bekleidung und des Gepäcks des Infanteristen von der Heeresleitung mit frischer Kraft erörtert. Zunächst wurden bei 10 Bataillonen der Armee Trageversuche unternommen. Diese Trageversuche dauerten von Mai bis zur Beendigung der Herbstübungen und richteten sich auf folgende Einzelheiten: Waffenrock mit Umschlagkragen, kürzeren und getheilten Rockschössen und einem Bindenkragen; Tricothemd anstatt des Kalikohemdes; Erleichterung der langschäftigen Stiefel durch Verwendung minder starken und schweren Leders, insbesondere zu den Schäften, sowie leichteren Beschlages; Veränderung der Unterhose (Anbringung von Knöpfen an Bund und Schlitz, sowie einer Tasche), so dass sie im Quartier auch als Oberhose getragen werden kann; Erleichterung des Helms durch kleinere, dabei gefälligere Form und Verwendung von Aluminium-Bronze zu den Beschlägen; andere Tornister mit beweglichen Tragriemen und ohne Gerüst; Fortfall der hinteren Patronentasche; die 2 vorderen nehmen zusammen 90 Patronen auf; Leibriemen und Säbeltasche um $^1/_2$ cm schmaler; Kochgeschirr aus Aluminium, äusserlich geschwärzt; Brotbeutelband wird auf dem Marsch im Brotbeutel getragen; beim Mantel fällt im Rücken und in den Aermeln das Futter fort; Drillichhose und Handschuhe (im Sommer) bleiben fort; Putzzeug wird auf 300 g beschränkt; Einführung eines leichteren Seitengewehrs; Verringerung der Taschenmunition um 30 Patronen; Verkleinerung der eisernen Portion um 400 g; Schanzzeugerleichterung um 950 g. Die Gesammterleichterung soll nach diesen Zahlen 6,890 kg betragen, so dass das Gewicht der Gesammtbelastung des Infanteristen sich dann von 33,028 kg auf 26,138 kg stellen würde, oder nach Einführung der zunächst zu erprobenden Theile des eben entwickelten Programms 28,523 kg.

Bei all diesen Erwägungen und Versuchen drängte sich die ja stets den Ausgangspunkt für alle Gepäckerleichterungen darstellende Frage wieder auf: Welches Gewicht kann ein gesunder Durchschnitts-Infanterist ohne Schädigung seiner Leistungsfähigkeit bei einer mittleren Marschleistung und bei weder zu günstiger noch zu ungünstiger Witterung tragen?

Dieser Frage hat man bisher nur theoretisch und nach practischer Beobachtung in der Front urtheilend beizukommen gesucht.

Major von Plönnies meint, dass der mit 60 Pfund beladene Infanterist vollkommen seine Schuldigkeit gethan hat, wenn er sich und seine Rüstung auf ebenem, horizontalem Boden während 6–7 Arbeitsstunden in langsamem Schritt fortbewegt. Kräftige Nahrung und regelmässiger Schlaf sind dabei vorausgesetzt. Steile und unebene Wege, schnellere Bewegung und Einflüsse der Witterung kürzen die mögliche Dauer der normalen Leistung noch erheblich ab. „Die tactische Bewegung der Heere, im Ganzen und in grösseren Zeiträumen betrachtet, stimmt auch nach neueren und neuesten Erfahrungen mit jenen Grundsätzen ihrer Beweglichkeit überein."

Kirchner[1]) knüpft an die Bemerkungen des Major von Plönnies einige weitere nicht unbedeutsame Erfahrungen an: Wer als Arzt einen feldmarschmässig ausgerüsteten Truppentheil während der Herbstübungen oder im Felde begleitet, hat vollauf Gelegenheit, die nachtheiligen Folgen der Ueberlastung auf die Athmung und Leistungsfähigkeit des Mannes zu beobachten. Während des ersten Theils des Marsches herrscht Muth und Frohsinn in der Truppe und in lauter Unterhaltung oder mit fröhlichem Gesange zieht sie dahin. Nach dem grossen Halt werden die Leute schweigsam, der Gesang verstummt, lautlos schleppt sich die Mehrzahl dahin, und selbst nach einem Marsch von wenig mehr als 20 km kommen alle Leute erschöpft und in Schweiss gebadet am Bestimmungsorte an. Und doch soll ja im Ernstfall erst dann die Arbeit beginnen; sind doch in einem Zukunftskriege zu den voraussichtlich sehr grossen Schlachten bedeutende Anmärsche erforderlich, um die gewaltigen Heeresmassen, welche mitzuwirken haben werden, auf dem Kampfplatz zu vereinigen. Woher soll der Soldat die körperliche Leistungsfähigkeit und die geistige Ruhe und Sammlung nehmen, welche zu den Bewegungen während des Gefechts und zur fruchtbaren Handhabung der Schusswaffe erforderlich ist, wenn seine Kräfte schon beim Eintreffen auf der Wahlstatt durch den Anmarsch erschöpft sind?

Auch Kirchner zieht aus diesen von vielen Seiten bestätigten Beobachtungen den gleichfalls schon vielfach in den Vordergrund gerückten Schluss, dass die jetzige Belastung des Soldaten ohne Zweifel zu gross sei, und dass die

[1]) Grundriss der Militär-Gesundheitspflege. 1893. S. 546.

Forderung des Major von Plönnies, dass sie ein Drittel des Körpergewichts nicht überschreiten dürfe, vom hygienischen Standpunkt nur als zutreffend bezeichnet werden könne.

Nach Kirchner darf daher, unter Zugrundelegung eines Durchschnittsgewichtes von etwa 66 kg für junge Leute im Alter von 20 bis 23 Jahren unter Berücksichtigung des Plönnies'schen Grundsatzes das Gewicht der Infanterie-Ausrüstung 22 kg nicht überschreiten. Dabei werden die Leute, welche schwächlich sind, namentlich die Freiwilligen, noch stärker belastet und es sollte daher nach Kirchner 20 kg als Höchstgewicht der Belastung angestrebt werden.

Major Keim[1]) fordert nur 18 kg, vermag aber selbst bei seinen eigenen sehr eingreifenden Abänderungsvorschlägen der Ausrüstung nicht unter 22 kg herunterzugehen, so dass also Kirchner diese Zahl als die erstrebenswerthe festhalten möchte.

Doch gewährt all' dies Material dem nach Antwort auf die Frage der Leistungsfähigkeit des Soldaten Suchenden keine rechte Befriedigung; es ist durch Schätzung, durch theoretische Beobachtung, durch subjective Erfahrung gewonnen; es fehlen ihm die zahlenmässigen Grundlagen. Es lag deshalb nahe, die Frage nach der Grösse der zulässigen Belastung gründlicher, wissenschaftlicher zu fassen, so, wie es die Heeresleitung im Februar 1894 that: „Lassen sich durch physiologische Versuche am Menschen Merkmale gewinnen, welche die Grenze der zulässigen Belastung des Soldaten anzeigen?"

Zur Entscheidung dieser Frage wurde im März 1894 eine Commission von der Medicinalabtheilung des Kriegsministeriums berufen, welcher auch die Verfasser zugehörten. Es wurde der Meinung Ausdruck gegeben, dass es möglich sein könnte, an einer kleinen Zahl von Marschirenden durch Untersuchung vor und nach dem Marsch Veränderungen bestimmter physiologischer Functionen (Athmung, Kreislauf, Wärmeregulation, Muskel- und Nerventhätigkeit) festzustellen, welche, wenn alle übrigen Bedingungen des Marsches genau dieselben wären, dem Einfluss höherer oder niederer Belastung zuzuschreiben seien. Da von den Marschirenden verlangt werden musste, dass sie bei den Untersuchungen durch Selbstbeobachtung mitzuwirken im Stande seien, so musste man darauf ver-

[1]) Militär-Wochenblatt. 1891. Spalte 2705.

zichten, Soldaten der Front zu diesen Versuchen heranzuziehen; es sollten vielmehr geeignete Studirende des damaligen Friedrich Wilhelms-Instituts zur freiwilligen Uebernahme der Marschleistungen aufgefordert werden.

Die Versuche sollten im thierphysiologischen Laboratorium der landwirthschaftlichen Hochschule unter Leitung der Verfasser unternommen werden; hier sollten auch die Märsche beginnen und enden.

Nach der Festsetzung dieser Punkte gingen die Verfasser sofort daran, die nöthigen Vorbereitungen zu den Untersuchungen zu treffen, von folgenden Erwägungen ausgehend.

Schon um festzustellen, ob das Tragen einer grösseren Last im menschlichen Organismus überhaupt Veränderungen hervorrufe, mussten alle Einflüsse ausgeschaltet werden, welche ähnliche Veränderungen hervorzubringen geeignet erscheinen konnten. Solche Einflüsse sind aber ausser der fortzubewegenden Last auch die Weglänge, die grössere oder geringere individuelle Disposition und das Wetter.

Der Einfluss der Länge und der Art des Weges liess sich am leichtesten beseitigen: Wir benutzten nach einigen ersten Einübungsmärschen stets genau dieselbe Strasse von 24,75 km Länge über den Königsdamm nach Saatwinkel und am Spandauer Kanal zurück. Am Königsdamm wurde ein Halt von 10 Minuten, am Spandauer Kanal ein solcher von einer halben Stunde (mit Einnahme des Frühstücks) gemacht. Die individuelle Indisposition liess sich in den nicht sehr häufigen Fällen, wo das nöthig war, einigermaassen in Rechnung setzen. Dagegen übte natürlich das Wetter einen gewaltigen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Marschirenden, auf die Veränderung der zu untersuchenden physiologischen Functionen aus.

Gerade diese letztere Erkenntniss war neben dem Wunsche, vorübergehende individuelle Indisposition auszugleichen, die Ursache für unseren Entschluss, eine möglichst grosse Zahl von Märschen und Untersuchungen zu veranstalten: nur so war die Möglichkeit gegeben, zum Vergleich des Einflusses verschiedener Belastung zwei oder mehrere Märsche zusammenzustellen, welche bei annähernd gleicher Witterung, aber ungleicher Belastung unternommen waren.

Unser genauerer Plan und seine Ausführung war nun wie folgt: Die 5 sich uns zur Verfügung stellenden Studirenden des Friedrich Wilhelms-Instituts, die Herren cand.

med. B., P., C., Sch. und F., welche damals im 5. Semester ihres Studiums standen und sämmtlich in ihrem 1. Semester mit der Waffe gedient hatten, sollten vollständig feldmarschmässig eingekleidet werden und an jedem Untersuchungstage den Weg von 24,75 km zurücklegen. Die ersten Märsche sollten zur allmählichen Gewöhnung an Gepäck und Weglänge dienen.

Die Bekleidungs- und Ausrüstungsstücke wurden vom Garde-Füsilier-Regiment neu geliefert; die scharfen Patronen wurden durch genau abgewogene Bleiklötze in den 3 Taschen ersetzt, die kleineren Ausrüstungsstücke im Tornister (eiserner Bestand, Besteck, Sold- und Gesangbuch, Pfeife und Taback, Putz- und Waschzeug) durch einen auf der Waage gefüllten Sandsack. Für alle diese Gegenstände wurden die von M. Kirchner angegebenen Zahlen zu Grunde gelegt, nachdem wir uns durch Nachwägen von der Zuverlässigkeit derselben überzeugt hatten. Das Gewicht der einzelnen Stücke betrug bei uns im Durchschnitt:

Tornister	1,800 kg,	
Mantel	(2,610)kg,	
Zeltausrüstung (Zeltbahn und Zeltstäbe)	1,600 kg,	
Kochgeschirr und Riemen	0,850 kg,	
Brotbeutel	0,300 kg,	
Feldflasche mit Inhalt	1,133 kg,	
Leibriemen	0,400 kg,	
Seitengewehr mit Scheide	0,925 kg,	
Spaten	1,000—1,150 kg,	
2 vordere Patronentaschen, leer	(0,560)kg,	
2 „ „ gefüllt	2,616 kg	(durch Bleiklötze ersetzt),
die hintere Patronentasche, leer	(0,565)kg,	
„ „ „ gefüllt	3,650 kg	(durch Bleiklötze ersetzt),
Helm	0,750 kg,	
Gewehr und Riemen	3,950 kg,	
Kleidungs- und Wäschestücke am Leibe	5,000 kg,	
Kleidungs- und Wäschestücke im Tornister	5,050 kg	(Mantel mitgerechnet),
sonstiges Gepäck im Tornister	3,500 kg	(durch Sand ersetzt) [eiserne Portion, Besteck, Trinkbecher, Verbandpäckchen, Sold- und Gesangbuch, Pfeife und Tabak, Brustbeutel, Erkennungsmarke, Putz-, Näh- und Waschzeug].

Danach betrug das Maximalgewicht unserer Belastung 31,5 kg (ohne Spaten).

Das Belastungsgewicht bei den einzelnen Märschen war folgendes:

Marsch 1: 13,0 kg (+ Helm, leere vordere Taschen),
„ 2: 17,8 kg (+ hintere Tasche, leerer Tornister und Mantel),
„ 3: 20,8 kg (+ vordere gefüllte Taschen und Kochgeschirr),
„ 4: 22,4 kg (+ Zelt),
„ 5—8: 24,5 kg (+ hintere halb gefüllte Tasche, Hose im Tornister),
„ 9: 26,0 kg (+ hintere ganz gefüllte Tasche),
„ 10—14: 27,5 kg (+ Stiefel und Hemde im Tornister).
„ 15—18: 31,2 kg (+ 3,5 Sand im Tornister),
„ 19 und 21: 27,5 kg,
„ 20 und 22—25: 31,2 kg,
„ 26—28: 22.0 kg.

Die als Soldaten vollständig eingekleideten Studirenden traten nun unter Begleitung eines Lazarethgehülfen und des Einen von uns (S.) an voraussichtlich warmen Tagen der Monate April bis Juli 1894 in der Regel um 7 Uhr, zuweilen um 5 Uhr den 24,75 km langen Versuchsmarsch an, nachdem zuvor die weiter unten genau aufgeführten einzelnen Functionen im thierphysiologischen Laboratorium geprüft waren. Diese Prüfung wurde — soweit angängig — während des Marsches wiederholt und in vollständiger Weise unmittelbar nach der Rückkehr in das Laboratorium. Die Untersuchungen waren folgende:

1. Untersuchung der Function aller derjenigen Organe, von denen man annehmen konnte, dass ihre Thätigkeit durch den Marsch und die Belastung beeinflusst werden könnte.

a) Beobachtung des Pulses und Zeichnung sphygmographischer Pulscurven;
b) Untersuchung des Herzens und der Leber;
c) Zählung der rothen und weissen Blutkörperchen und Bestimmung des specifischen Gewichts des Blutes;
d) Messung der Einwirkung des Marsches auf die Leistungsfähigkeit auch solcher Muskeln, welche nicht direct in Anspruch genommen waren.
e) Ermittelung der Promptheit und Sicherheit, mit der das Nervensystem messbare einfache Leistungen vermittelte, und der dazu erforderlichen Zeit;
f) Temperaturmessungen;
g) Messung des Luftfassungsvermögens (Vitalcapacität) der Lunge;

h) Beobachtung der Respirationsfrequenz;
i) Untersuchung des Urins auf Abweichung seiner Beschaffenheit von der Norm;

2. Untersuchung des Stoffwechsels, das heisst des durch die Arbeit bedingten Verbrauchs an Körper- und Nahrungsbestandtheilen sowie der Wärmeregulation.

II. Allgemeines Verhalten beim Marsch.

Ehe wir zu den Einzelheiten übergehen, möge im Allgemeinen kurz vorausgeschickt sein, dass die Herren, abgesehen von der Zeit, wo einzelne derselben einer vollständigen Untersuchung aller Einnahmen und Ausgaben unterworfen wurden, absichtlich in keiner Weise bezüglich ihrer Ernährung und ihrer sonstigen Thätigkeit beschränkt waren; soweit es die nach den schweren Märschen oft beträchtliche Nachwirkung (grosse Mattigkeit, schlechter Schlaf, kein Appetit) zuliess, lagen sie eifrig ihrem Studium ob. Störende Zwischenfälle auf den Märschen und durch die Märsche sind nicht beobachtet worden, wenn man von den allerdings auffallend häufigen Fussleiden absieht, die zwar am häufigsten im Beginn der Marschperiode, doch bis zum Schluss noch recht häufig die kleine Schaar der Marschirenden verringerten.

Einige Tage vor dem Beginn der Untersuchungen (am 22. April 1894) und nach Schluss derselben (am 7. Juli 1894) wurde von jedem einzelnen der marschirenden Herren das Ergebniss einer genauen körperlichen Untersuchung kurz zu Protokoll gegeben. Dieser Status möge hier eingeschaltet sein; die Zahlen und Abweichungen der Untersuchung im Juli sind, um Wiederholungen zu vermeiden, in Klammern in das Aprilprotokoll eingefügt.

Herr P.: 1.70 m gross, 70 kg (*67,15*) schwer. Gesundes, frisches Aussehen. Ziemlich starkes (*mässig starkes*) Fettpolster, (*sehr*) stark entwickelte Musculatur. Brustkorb gut gewölbt, keine deutlichen

Schlüsselbeingruben, hebt sich (*sehr*) gut. Absolute Herzdämpfung vom unteren Rand der 4. Rippe bis zum unteren Rand der 5. Rippe, vom Spitzenstoss bis zum linken Sternalrand; Spitzenstoss im 5. Intercostalraum in der Parasternallinie. Leberdämpfung vom unteren Rand der 5. Rippe bis 1 Finger breit über den Rippenbogen (*bis zum Rippenbogen*) hinaus in der Mammillarlinie. Untere Lungengrenze beiderseits am 12. Brustwirbel. Lungenschall und Athemgeräusch überall normal; Herztöne rein, 72. Milzdämpfung sehr wenig angedeutet. Milz nicht palpabel. Bauch weich, etwas vorgewölbt. Zunge zittert nicht, etwas weisslich belegt. Augen: R. cyl. + 4,0 D, S = $^1/_2$. L. cyl. — 2,0 D, S = 1.

Umfang des Halses 39 (*37*) cm,
„ der Brust 85—93 (*80—90*) cm.
„ des Bauches (über dem Nabel gemessen) 81 (*73*) cm.
„ „ gestreckten Oberarms (Mitte) 29 (*29*) cm.
„ „ „ Unterarms (grösste Dicke) 28 (*28*) cm.
„ „ Oberschenkels (Mitte) 50 (*49*) cm,
„ der Wade 36 (*36*) cm.

Herr B.: 1,69 m gross, 65 kg (*63,25*) schwer. Gesundes, frisches Gesicht. Knochenbau graeil. Musculatur und Fettpolster gleich gut entwickelt (*Fettpolster gering, Musculatur gut*). Zunge zittert nicht, nicht belegt. Lungenschall überall voll und laut, hinten bis zum 11. Brustwirbel beiderseits (*rechts bis zum 12.*). Leberdämpfung beginnt in der Parasternallinie an der 6. Rippe und geht nicht über den Rippenbogen hinaus. Herzdämpfung vom linken Sternalrand bis zur Parasternallinie und bis zum unteren Rand der 5. Rippe, obere Grenze der 3. Intercostalraum. Spitzenstoss im 5. Intercostalraum deutlich fühlbar und (*nicht*) sichtbar. Athemgeräusch überall normal, Herztöne deutlich und rein. Lidrandentzündung.

Umfang des Halses 36 (*36*) cm,
„ der Brust 82—89 (*80—89*) cm.
„ des Bauches (über dem Nabel gemessen) 81 (*73*) cm,
„ „ Oberarms (Mitte) 24,5 (*24*) cm,
„ „ Unterarms (grösste Dicke) 25,5 cm,
„ „ Oberschenkels (Mitte) 50 (*48*) cm,
„ der Wade 35 (*36*) cm.

Herr F.: 1,775 m gross, 67,5 (*66*) kg schwer. Schlank, etwas blass. (*Gebräunt, sehr gesundes Aussehen.*) Fettpolster (*sehr*) mässig; Musculatur gleichfalls; Knochenbau graeil. Brustkorb gut gewölbt, hebt sich (*sehr*) gut. Clavicular gruben gering ausgebildet. M = $^1/_{20}$, S = 1. Herzdämpfung vom unteren Rand der 4. Rippe bis zum unteren Rand der 5. Rippe, vom linken Sternalrand bis zur Parasternallinie; Herzstoss nicht fühlbar. Spitzenstoss schwach im 5. Intercostalraum in der Parasternallinie fühlbar. In der rechten Parasternallinie reicht die Leberdämpfung vom oberen Rand der 6. Rippe bis zum Rippenbogen. Lungengrenzen hinten in der Höhe des 12. Brustwirbels. Athemgeräusch überall normal, keine Nebengeräusche. Herztöne mässig laut, rein. Zunge nicht belegt, zittert nicht. Milzdämpfung fehlt.

Umfang des Halses 36 (*36,5*) cm,
„ der Brust 82—91 (*82—90*) cm.
„ des Bauches 72 (*76*) cm,
„ „ Oberarms 24 (*24*) cm,

Umfang des Unterarms 27 (*27*) cm.
„ „ Oberschenkels 52 (*47*) cm,
„ der Wade 36 (*37*) cm.

Herr C.: Grösse 1,78 m. Gewicht 67,5 (*64*) kg. Gesunde Gesichtsfarbe, Knochenbau ziemlich, Musculatur gut, Fettpolster gering entwickelt. Sehschärfe normal; M. links 4 D, rechts 2,5 D. Zunge nicht belegt, wird gerade herausgestreckt. Appetit, Verdauung gut. Lungenschall überall voll und laut. Leberdämpfung vom oberen Rand der 6. (7.) Rippe bis zum Rippenbogen in der Parasternallinie. Herzdämpfung vom linken Sternalrand zur Parasternallinie und vom unteren Rand der 4. Rippe bis zum unteren Rand der 5. Rippe. Lungengrenzen hinten bis zum 1. Lendenwirbel. Spitzenstoss im 4. Intercostalraum in der Parasternallinie deutlich fühlbar. Herztöne laut, überall rein. Athemgeräusch überall normal, frei von Nebengeräuschen.

Umfang des Halses 36 (*35*) cm,
„ „ rechten Oberarms 26,5 (*26*) cm,
„ „ „ Unterarms (grösste Dicke) 27 (*26*) cm,
„ der Brust 81—86 (*77—84*) cm,
„ des rechten Oberschenkels 49 (*48,5*) cm,
„ „ „ Unterschenkels (Wade) 36 (*36*) cm,
„ „ Bauches (Nabel) 75 (*70*) cm.

Herr Sch.: 1,81 m gross, 79,5 (*77*) kg schwer. Mässig starke Knochen und Muskeln: Fettpolster ziemlich (*mässig*) stark, aber (*sehr*) prall. Gesunde Gesichtsfarbe. M. rechts = 2,25 D, links = 1,0 D, Sehschärfe beiderseits = 1. Zunge zittert beim Herausstrecken ein wenig (*nicht*), etwas weisslich belegt. Appetit und Verdauung gut. Lungenschall überall voll und laut, bis zum 12. Brustwirbel hinten beiderseits. Leberdämpfung in der Parasternallinie vom oberen Rand der 5. Rippe bis 2 cm über den Rippenbogen. Herzgrenzen: 3. Intercostalraum, oberer Rand der 6. Rippe, 1 cm nach rechts vom linken Sternalrand, 1 cm nach aussen von der Parasternallinie. Spitzenstoss nicht fühlbar. Athemgeräusch überall normal; Herztöne leise, aber rein.

Umfang des rechten Oberarms (gestreckt, Mitte) 28 (*27*) cm,
„ „ „ Unterarms (grösste Dicke) 27 (*27*) cm,
„ „ Halses 37 (*37*) cm,
„ „ Bauches (über dem Nabel gemessen) 96 (*89*) cm,
„ „ rechten Oberschenkels (Mitte) 51 (*48*) cm,
„ „ „ Unterschenkels (Wade) 39 (*38*) cm,
„ der Brust 89—95 (*85—92*) cm.

Diese Protokolle sind nicht uninteressant. Sie zeigen zunächst, wie alle Herren durch jene 28 Märsche an Gewicht abgenommen haben, von 1,5—3,5 kg; Herr P. und Herr Sch., welche ein recht gut entwickeltes Fettpolster bei der ersten Untersuchung, bei der zweiten nur ein „mässiges“ aufwiesen, verloren 2,9 und 2,5 kg; Herr C. 3,5 kg; Herr B. und Herr F. mit mehr magerem Habitus hatten nur 1,75 und 1,5 kg Gewichtsverlust. Auch die Verringerung des Bauchumfanges in Nabelhöhe bei 4 Herren beweist den Schwund von Fettsubstanz. Nur bei Herrn F. war der wohl-

thätige Einfluss der körperlichen Leistung in einer Zunahme des Bauchumfanges um 4 cm zum Ausdruck gelangt. Bei Herrn P. steht auch eine Verkleinerung der Leberdämpfung notirt. Auch der Brustumfang erreicht bei der maximalen Inspiration im Juli nicht jene Höhe, wie im April, dagegen ist die Respirationsbreite mit einer Ausnahme grösser geworden. Dieselbe Beobachtung machte auch das Auge: Der Brustkorb hob sich im Juli besser und freier. Die Besserung in der Gesichtsfarbe trat besonders bei Herrn P. und Herrn F. in die Erscheinung, bei dem die gesunde Bräunung sogar ausdrücklich vermerkt ist.

Die Abnahme im Umfang der Extremitäten würde noch stärker sich auch ziffernmässig aussprechen, wenn nicht die dicker gewordene Muskulatur der Gliedmaassen den Raum des geschwundenen Fettes eingenommen hätte. Deshalb beweist in diesem Fall das Bandmaass weniger als der Augenschein, der uns besonders bei Herrn P., aber auch bei Herrn B. und Sch. zeigte, wie nach und nach aus den früher runden Formen der Extremitäten, der Brust und des Gesichts sich die scharf umrissenen Linien der Muskulatur heraus arbeiteten. Aber die Fettschicht schwand doch in höherem Grade, als die erstarkende Muskulatur sie ersetzte: Die meisten Maassziffern zeigen fast bei allen Herren eine über die Fehlergrenze des Messens hinausgehende Verminderung nach Beendigung der Versuche. Nur Herr F., dessen Unterhaut sehr fettarm war, hatte sich einer Zunahme sowohl des Umfanges des Halses, des Bauches und des Unterschenkels zu erfreuen; nur der Oberschenkel machte eine Ausnahme.

Auf eine Messung der Dicke erhobener Hautfalten haben wir deshalb verzichtet, weil die Abnahme derselben an Dicke selbst bei Hungerern (z. B. Cetti und Breithaupt) nur bis 3 mm höchstens betrug.

Nachtheilige Einflüsse in irgend einem Organe haben wir nicht zu verzeichnen gehabt, sodass wir als letzte Summe der ganzen Marschirarbeit vorwegnehmen dürfen, dass eine dauernde tiefere Schädigung auch nicht eingeübter Menschen durch vorübergehende übermässige Belastung nicht anzunehmen sein dürfte. Es mag bei dieser Gelegenheit noch ein der Erklärung bedürfender Punkt unseres Versuchsprogramms Erwähnung finden, der in dem Einwurf gipfelt, dass das Resultat der Märsche mit ungeübten Studenten sich nicht ohne Weiteres

auf die Verhältnisse des Soldaten übertragen liesse. Wir sind uns dieses Unterschiedes wohl bewusst gewesen. Indess bedürfen im Mobilmachungsfall die einmarschirten und mit eingetretenen, dauerhaften Stiefeln versehenen Frontsoldaten viel weniger unserer Sorge, als gerade die Reservisten und Landwehrleute, welche aus dem oft keine körperliche Anstrengung verlangenden Civilleben herausgerissen werden und sofort nach den bis 1894 gültigen Bestimmungen mit vollen 31 kg belastet vielleicht mehr als 24 km täglich zurücklegen müssen. Und solche Leute haben wir im Feldzuge mehr als Frontsoldaten. Aus diesem Grunde schon zogen wir vor, unsere Beobachtungen an Mannschaften anzustellen, welche schon längere Zeit die active Dienstzeit hinter sich hatten.

Die Bearbeitung des durch die ausgeführten 28 Märsche gewonnenen Materials war nun ausserordentlich erschwert dadurch, dass sich selbst in Tabellenform dasselbe schwer übersehen liess. Und nur die gleichzeitige Uebersicht über die Veränderungen mehrerer Functionen konnte einen Zusammenhang der einzelnen, unter sich fremden Untersuchungen herbeiführen. Deshalb wurde das gesammte Material der beobachteten Veränderungen graphisch auf stets gleich grosse Tafeln und zwar für jeden der marschirenden Herren besonders eingetragen, so dass sich durch Aneinanderlegen direct eine Uebereinstimmung oder ein Abweichen erkennen liess.

In die Tafeln sind die einzelnen Functionen in ihren verschiedenen Werthen als 28 senkrechte Säulen eingetragen, den 28 ausgeführten Märschen entsprechend. Diese Säulen sind je nach der Belastung bei dem betreffenden Marsch weiss gehalten, wenn die zu tragende Last 22 kg nicht überstieg, sie sind einfach schraffirt, wenn die Last 27 kg betrug, und sie sind doppelt schraffirt angelegt, wenn 31 kg getragen wurden.

Wir haben somit 3 Grade oder Gruppen bezüglich der Belastung angenommen, die wir in der folgenden Arbeit häufig den Betrachtungen zu Grunde legen werden, um den Einfluss der Belastung zu studiren.

In dieser Weise wurden 15 graphische Tafeln angelegt, welche uns beim vergleichenden Studium der Märsche gute Dienste geleistet haben. Zehn von ihnen haben wir, auf einer Tafel (Taf. I.) vereinigt, dieser Arbeit angefügt.

Durch Uebernahme einzelner Specialaufgaben betheiligten sich an den Untersuchungen folgende Herren, ohne deren Thätigkeit die oft in sehr kurzer Zeit und gleichzeitig aus-

zuführenden vielartigen Beobachtungen nicht möglich gewesen wären: Herr Professor Dr. Immanuel Munk für die Bestimmungen der Mineralbestandtheile in den Ausscheidungen während des Bilanzversuches, Herr Dr. P. F. Richter für die Bestimmungen der Extractivstoffe und des Ammoniaks im Harn, Herr Dr. J. Frentzel bei den Respirationsversuchen und den Analysen der Nahrungsmittel und Stoffwechselproducte, Herr cand. chem. Falk und Herr cand. med. Nehring bei den Gasanalysen, Herr cand. med. Tornow und Herr cand. med. Fischer für die Bestimmung des specifischen Gewichts des Blutes und die Zählung der Blutkörperchen, Herr cand. med. Géronne für die tägliche qualitative Prüfung des Urins und der einjährig-freiwillige Militär-Apotheker Herr Mathes für die Analysen der Nahrungsmittel und Stoffwechselproducte.

III. Einfluss des Marsches auf einzelne Functionen des menschlichen Körpers.

a) Puls.

Um den Einfluss unserer Märsche auf den Puls studiren zu können, haben wir die Frequenz des Herzschlages festgestellt, vor dem Marsch, beim Beginn jedes der beiden Halte und unmittelbar nach der Rückkehr ins Laboratorium; vom 13. Marsch ab auch nach Beendigung der beiden Marschpausen. Ferner haben wir von jedem Herrn an jedem Marschtage vor Beginn des Marsches und sofort nach dem Einrücken, später, vom 7. Marsch ab, auch in den ersten Minuten des zweiten, $^1/_2$ Stunde dauernden Rendez-vous ein Sphygmogramm aufgenommen.

Wenden wir uns zunächst zur Frequenz des Pulses. Die in das Marschprotokollbuch[1]) eingetragenen Pulszahlen

[1]) Von einer Wiedergabe des Marschprotokollbuchs haben wir, um Raum zu ersparen und Wiederholungen zu vermeiden, absehen zu sollen geglaubt.

sind einmal solche, welche meist von den Herren selbst (Studenten im ersten klinischen Semester nach bestandener Vorprüfung) durch Tasten ermittelt wurden, zweitens aber aus den Sphygmogrammen ausgezählte Werthe. Durch genaue und mehrfache Versuche haben wir bei unserem Sphygmographen festgestellt, dass der Papierstreifen den Apparat nicht, wie der Fabrikant angab, in 10, sondern etwa in 9,2 Secunden durchlief, ferner von Zeit zu Zeit controlirt, ob das Uhrwerk in seiner Triebkraft nicht etwa Einbusse erlitten hatte; bei jeder Pulscurve ist stets nur die erste Hälfte der Uhrwerksthätigkeit benutzt, obschon wir feststellen konnten, dass die Geschwindigkeit der zweiten Hälfte derjenigen der ersten gleich war. Die für die 3 Gruppen von Märschen (I 22 kg, II 27 kg, III 31 kg Last) berechneten Mittel aus den bei jedem Marsch notirten höchsten Pulszahlen, sowie die Zunahme dieser Mittel gegenüber den Ruhewerthen in absoluter Zahl wie in Procenten giebt die Tabelle auf folgender Seite.

Die darin vermerkten Pulszahlen in der Ruhe fallen sofort durch ihre Höhe auf. Zur Erklärung dieses Umstandes möge die Mittheilung dienen, dass diese Mittel für die Ruhe gewonnen wurden aus derjenigen Pulsfrequenz, welche wir unmittelbar vor dem Antritt des Marsches fanden, also meist Morgens zwischen 6 und 7 Uhr, zuweilen noch früher, nachdem die Herren einen Weg von einer Viertelstunde zum Laboratorium meist nicht im schlendernden Schritt zurückgelegt hatten, nachdem sie die ziemlich complicirte feldmarschmässige Ausrüstung wenigstens zum Theil angelegt und die vielfache Reihe der an sie herantretenden Untersuchungen theilweise passirt hatten und nachdem die Aufregung über den bevorstehenden Marsch sich, auch augenscheinlich, geltend gemacht hatte. An Ruhetagen zu späterer Stunde und bei reichlich zur Verfügung stehender Untersuchungszeit überstieg auch bei unseren Herren die Pulsfrequenz nicht 80 in der Minute, ja, nach der Ruhe eines Haltes bei nicht sehr anstrengendem Marsch, ging bei Manchem die Pulszahl unter diejenige herab, welche vor dem Marsch notirt wurde. Als Vergleichswerth indess glaubten wir nur die aus der Pulsfrequenz vor dem Marsch berechneten Zahlen berücksichtigen zu dürfen.

Nehmen wir in dieser Tabelle zuerst das Gesammtmittel vor, so geht aus ihm der Einfluss der hohen Belastung

	B.			P.			C.		
	Nach dem Marsche	Zunahme gegen die Ruhe		Nach dem Marsche	Zunahme gegen die Ruhe		Nach dem Marsche	Zunahme gegen die Ruhe	
		absolut	in pCt.		absolut	in pCt.		absolut	in pCt.
Gruppe I . .	103	26	33,7	100	21	26.3	98	17	20.9
Gruppe II .	102	25	32,4	107	28	35.4	104	23	28.4
Gruppe III .	115	38	49.3	121	42	53.1	116	35	43.2
Ruhe . . .		77			79			81	

auf die Herzthätigkeit ohne Weiteres hervor. Schon bei einer Belastung von 22 kg brachte der Marsch eine Steigerung der Pulsfrequenz um 28,5 pCt. hervor. Diese Zahl ist deshalb so hoch, weil die zu ihrem Zustandekommen ganz erheblich beitragenden Märsche 26 bis 28 durch tropische Hitze erschwert wurden, sodass die Zahl für die Gruppe I (22 kg) sich derjenigen der Gruppe II (27 kg) sehr nähert (28,5 : 29,8); man könnte deshalb sagen, dass in diesem Falle die Temperatursteigerung über 18° und bis 26,8° C. dieselbe Einwirkung auf die Schnelligkeit der Herzbewegung ausübte, wie ein Zuwachs zu dem Gepäck von 5 kg bei kühlerem Wetter. Trotz dieser günstigeren Temperatur aber brachten die Märsche der Gruppe II doch immer noch eine weitere Beschleunigung von 1,3 pCt. hervor und eine Last bis über 31 kg sogar eine Steigerung der Herzthätigkeit um 44 pCt., eine Vermehrung der Arbeit, welche ohne Schaden lange Zeit hindurch nicht zu ertragen sein dürfte. Diese aus den Gesammtmittelzahlen abgeleiteten Folgerungen werden durch die zugehörigen Spalten der Herren P. und C. bestätigt: bei den drei übrigen Herren trieb die gewaltige Hitze der ersten Marschperiode die betreffenden Mittel für den Puls höher hinauf als in Gruppe II, indess finden wir bei allen Herren in der Zahlenzusammenstellung den Einfluss sich spiegeln, welchen die Steigerung der Last von 27 kg (Gruppe II) auf 31 kg (Gruppe III) ausübt; die höchste Ziffer in Gruppe III lieferte uns Herr P. mit 53,1 pCt. Pulssteigerung. Die absoluten, in der graphischen Darstellung (Tafel I) übersichtlich geordneten höchsten Pulszahlen setzten

S.			F.			Gesammt		
Nach dem Marsche	Zunahme gegen die Ruhe		Nach dem Marsche	Zunahme gegen die Ruhe		Nach dem Marsche	Zunahme gegen die Ruhe	
	absolut	in pCt.		absolut	in pCt.		absolut	in pCt.
107	24	28,9	131	32	32,3	108	24	28,5
102	19	22,9	128	29	29,3	109	25	29,8
115	32	38,5	135	36	36,4	121	37	44.0
	83			99			84	

uns zuweilen in Erstaunen, namentlich bei Herrn P., welcher öfter 130 erreichte, aber besonders bei Herrn F. Gleich der erste Marsch (21 km und nur 13 kg) gab ihm einen Puls von 155 und auch später waren Pulse über 125 bei ihm Regel, Pulse über 140 keine Seltenheit mehr; und doch ertrug er die Anstrengungen der Märsche befriedigend, obschon er meist recht angegriffen war, und einmal eine am Ende einer Ruhepause aufgetretene, eine Viertelstunde anhaltende Herzarhythmie beobachtet wurde. Die Herzdämpfung gerade an diesem Tage zeigte ebenso wenig eine Veränderung, wie die stets reinen Herztöne. Auch im Allgemeinen konnte bei Herrn F. nicht häufiger Marschdilatation festgestellt werden, als bei den übrigen Herren; bei Herrn S., bei welchem fast regelmässig nach dem Marsch sich eine Herzerweiterung einzustellen pflegte, ging der Puls nur zwei Mal über 120 heraus. Auch bei den übrigen Herren fallen die Profile dieser beiden (Puls- und Stauungs-) Curven nicht zusammen. Pulsbeschleunigung und Stauungserscheinungen scheinen sich fast auszuschliessen. Indess ist der Tachycardie nach unseren Erfahrungen als einem Zeichen nicht ganz normaler Widerstandskraft bei stärkeren körperlichen Leistungen eine gewisse Bedeutung beizulegen.

Wenn wir nun die Pulshöhe mit den übrigen in Curven wiedergegebenen Resultaten der Beobachtungen von anderen Functionen in einen Vergleich setzen (siehe Tafel I), so finden wir, dass einem hohen Puls nicht immer ein Ausfall der Vitalcapacität oder eine hohe Körpertemperatur oder Atheminziffer oder eine geringere Muskelleistung oder auch überhaupt ein

Gefühl der Ermattung entspricht. Wenn auch manchmal einige dieser Functionen Hand in Hand gehen, wie Abnahme der ergographischen Leistung und hoher Puls bei Herrn B. und P. oder auch Temperatur und Puls bei Herrn F.. Marsch 12, 13, 14, 20 bis 24, so lassen sich doch noch mehr Beispiele auffinden, wo der hohe Puls vorherrscht, ohne dass die anderen Leistungen geschädigt wären. Tachycardie scheint somit zu entstehen unabhängig von Körpertemperatur. Athmung und Ermüdung der Körpermuskulatur durch eine Beeinflussung des Herzmuskels selbst oder seiner Ganglien, direct oder durch Vermittelung des Centralorgans. Dabei ist vielleicht noch erwähnenswerth, dass Herr S., bei welchem die Marschbewegung auf den Puls so wenig beschleunigend wirkte, bezüglich der messbaren Aeusserungen seiner psychischen Thätigkeit (psychische Reaction und Gedächtnisskraft) von allen Herren den regelmässigsten Ausfall durch die Märsche erfuhr.

Gehen wir einen Schritt weiter zur Ermittelung der beruhigenden Wirkung, welche eine 10 oder 30 Minuten dauernde Ruhepause auf die durch die körperliche Leistung erregte Herzthätigkeit ausübt. Die Herzfrequenz wird um so schneller zur Norm zurückkehren, je weniger tiefgreifend die Anstrengung das Herz — direct oder indirect — veränderte. In der nachstehenden Tabelle sind für die 3 Gruppen der Märsche diejenigen Zahlen im Mittel vereinigt, welche wir nach Beendigung jeder Rast unmittelbar vor dem Aufbruch erhielten. Dieselben mussten um so höher ausfallen, je weniger das Herz sich von der von ihm geforderten Arbeit erholt hatte.

	B.	P.	C.	S.	F.
Gruppe I	81	75	92	87	84
Gruppe II	71	80	—	76	85
Gruppe III	74	80	81	79	80

Zunächst springt sofort in die Augen, dass fast bei allen Herren auf den Halteplätzen während der Märsche die Pulszahl auf niedrigere Werthe absinkt, als wir sie für die Einzelnen aus den vor dem Antritt jedes Marsches erhaltenen

Zahlen berechnet haben. Der Grund liegt darin, dass letztere Ziffern nur in einer geschäftigen unruhigen Stunde und nach frühem Aufstehen und schnellem Gang gewonnen werden konnten; die in der Tabelle erscheinenden Zahlen aber sind das — mehr oder minder stark ausgeprägte — Ergebniss der wohlthätigen Ruhe des Haltes.

Wir vermissen dann ferner in den Reihen jener Tabelle die — eigentlich erwartete — Gleichmässigkeit. Wenn auch bei drei der Herren der Zuwachs von Gruppe II nach III sich auch hier wiederfindet, so haben wir doch auch eine Ausnahme, Herrn F., bei welchem wohl[1]) individuelle Indisposition die Gruppe II in die Höhe getrieben hat. Wir haben dann wieder die hohen Zahlen der Gruppe I, welche sich in der hier behandelten Frage ausschliesslich aus den drei letzten, sehr heissen Märschen bildet. Doch prägt sich der Einfluss der höheren Last deutlich bei Herrn B. und S., vielleicht auch bei Herrn P. und C. aus, und dies legt uns die Vermuthung nahe, dass bei gesunden Soldaten nach einem 10 bis 30 Minuten währenden Halt die Herzthätigkeit wieder zur Norm herabgesunken sein muss, wenn die Leistung keine Schädigung hinterlassen hat. In dieser Beziehung entsprechen unsere Resultate den Erfahrungen, welche Christ[2]) am arbeitenden Menschen sammelte.

Wir gehen nun über zu den von den Marschirenden aufgenommenen (407) Sphygmogrammen, von denen wir hier nur wenige Beispiele wiedergeben können.

Wir bedienten uns zur Aufzeichnung der Pulsbewegung des Richardson'schen Sphygmographen, welcher sich hauptsächlich dadurch vor dem Marey'schen und anderen Instrumenten auszeichnet, dass die Pelotte auf die Radialis nicht mittels der Kraft einer Feder, sondern eines Hebels drückt, der sich durch ein zu variirendes Gewicht mehr oder weniger beschweren lässt. Der Sphygmograph wurde stets an die rechte Radialis angelegt und zwar stets von demselben Untersucher. Dabei ruhte der Arm über der Ecke eines Tisches mit dem Ellenbogen, so dass die Hand selbst nicht unterstützt wurde; der Unterarm war vollständig supinirt und die Hand so viel gestreckt, als durch ihre eigene Schwere bewirkt wurde. Diese Haltung der Hand erschien uns nach vielen

[1]) Nach Ausweis des Marschprotokollbuches.
[2]) Corresp.-Bl. f. Schweizer Aerzte. 1893.

Probevorversuchen als die geeignetste für unsere Zwecke: besonders construirte Unterlagen, Polsterungen oder gar Gypsmodelle waren für das bei uns nöthige schnelle Anlegen des Apparats hinderlich, namentlich auf dem Marsche selbst. Zum schnellen Anlegen des Instruments bildeten sich durch die viele Uebung einige besondere Griffe heraus: Es gelang am leichtesten und schnellsten, die Pelotte an die Arterie zu bringen, indem wir mit der linken Hand den Apparat fassten und mit der rechten, die Gummibänder in die volle Hand nehmend, mit Daumen und Zeigefinger die Klemme, welche dieselben fixirte, regierten. Es wurde dann, zunächst ohne Rücksicht auf die Gewichtsbelastung des Hebels, diejenige Anspannung der Gummibänder aufgesucht, bei welcher der Hebel der Pelotte, durch die Pulsbewegung in Schwingung versetzt, am meisten ausschlug; die feinere Regulirung wurde dann durch das Verschieben des Gewichts am Hebelarm besorgt, also ein Vorgang, ähnlich wie grobe und feine Einstellung am Mikroskop. Aus diesem von uns eingeschlagenen Verfahren erhellt ohne Weiteres, dass wir darauf verzichtet haben, in der verschiedenen Belastung des Hebels (von 40 bis 180 g) einen Ausdruck des in der Radialis herrschenden Blutdrucks zu sehen, wie es verschiedene Experimentatoren gethan haben: Abgesehen davon, dass auf die dem Sphygmographen übermittelte Pulsbewegung die Spannung und Durchfeuchtung der noch über der Arterie liegenden Gewebe von grossem Einfluss ist, so drückt doch nicht nur der Hebel mit seinem zwischen 40 bis 180 g verschiebbaren und also messbaren Gewichte auf das Gefässrohr, auch der — gleichfalls variable aber sich jeder Messung entziehende — Druck der Gummibänder comprimirt die Radialis. Ich kann also in vielen Fällen dieselbe Höhe der Pulscurven erreichen durch straffen Bänderzug und ganz geringes Hebelgewicht wie durch mässigere Anspannung der Gummizüge und hohe Hebellast. Aus diesen Gründen hielten wir es für gerathener, aus demjenigen Hebelgewicht, welches den grössten Ausschlag zuliess, ein Urtheil über den Blutdruck nicht abzuleiten, ebensowenig aus der Höhe der erlangten Curve wegen des wechselnden Einflusses der Hautspannung.

Lag nun der Sphygmograph gut an, so wurde der Papierstreifen eingefügt, nochmals die maximale Höhe der Curve durch Verschieben des Gewichts ausgesucht und nun das stets vor dem Anlegen ganz aufgezogene Uhrwerk in

Thätigkeit gesetzt. Die Sphygmogramme wurden sofort bezeichnet und in Schellacklösung fixirt. Die Berussung der Papierstreifen, namentlich der breiten für den Ergographen, machte mancherlei Unbequemlichkeiten. Die übliche Schwärzung in der Terpentinflamme fiel bei den grossen Streifen recht ungleichmässig aus, abgesehen von der Verschmutzung der Umgebung. Wir versuchten deshalb den Russ mit einem feinen Pinsel aufzutragen. Er hielt indess schlecht; doch fiel uns auf, dass der aufgepinselte Russ dort fest haftete, wo die Finger den Streifen gefasst hatten. Es wurde deshalb der Papierstreifen zunächst in eine Aetherfettlösung getaucht; dann konnten wir den Russ mit einem feinen Tuschpinsel bequem, schnell und gleichmässig aufstreichen. Für die sphygmographischen Aufnahmen während der Märsche selbst, führte der Lazarethgehülfe die berussten Papierstreifen in einem Kästchen befestigt und vor dem Verwischen geschützt mit.

Die Beurtheilung der so gewonnenen Sphygmogramme ist nun nicht gerade eine einfache und leichte Thätigkeit. Es galt zunächst die zeitliche Dauer der einzelnen Abschnitte der Pulscurve festzustellen. Wir haben daraufhin untersucht: Die Zeitdauer der primären Erhebung, der Systole, der Diastole, der ganzen Herzrevolution, die Stärke der sogenannten Elasticitätsschwankungen in 3 geschätzten Graden, die Höhe der Dicrotie in mm. Aus diesen Werthen berechneten wir dann noch das Verhältniss der Diastole zur Systole $\frac{D}{S}$ und zwar bei jedem einzelnen der 407 Sphygmogramme. Die Zeitdauer wurde ermittelt durch Vergleich der Länge der einzelnen Phasen der Pulsbewegung mit den durch den Apparat auf den Russstreifen aufgezeichneten Strichen (siehe die später folgenden Pulscurven). Der Russstreifen, von bestimmter Grösse, sollte nach den Angaben des Fabrikanten das Instrument in 10 Secunden durchlaufen. Nach vielfachen Controlversuchen brauchte der Streifen bei unserem Apparat nur wenig mehr als 9 Secunden, etwa 9,1 bis 9,3 Secunden. Da nun der Sphygmograph in dieser Zeit genau 77 Striche auf das Russpapier zeichnete, so entsprach jeder Strich 0,12 Secunden. Im Anfang des Streifens fanden sich nun fast immer höhere Werthe für die einzelnen Pulsphasen, als in der Mitte und am Ende. Diese Unregelmässigkeit erklärt sich ganz natürlich dadurch, dass das sich in Bewegung

setzende Uhrwerk nicht gleich seine maximale Geschwindigkeit erreicht, sondern dass erst einige Secunden bis dahin verstreichen. Dieser Fehler ist bei der Berechnung in Anschlag gebracht worden. Im Uebrigen haben wir stets darauf geachtet, dass das Uhrwerk bei jeder sphygmographischen Aufzeichnung vollständig aufgezogen war; auch haben wir während der Marschperiode und nach Beendigung derselben mehrfach unser Instrument auf seine Zuverlässigkeit, namentlich der Uhrwerks-Geschwindigkeit, controlirt.

Bei der sehr zeitraubenden Durchmusterung eines jeden der 407 Sphygmogramme auf die Länge seiner Phasen, wurde jede einzelne Herzrevolution vorgenommen und aus allen das Mittel gezogen. Es ist diese Bestimmung auch deshalb nicht ganz einfach, weil die einzelnen Theile der Pulscurve sich oft nicht durch eine scharfe Grenze von einander isoliren lassen, und doch waren wir für unseren Zweck gezwungen, eine solche Grenze zu ziehen.

Der Zeitraum der primären Erhebung ist schwer zeitlich zu erfassen, deshalb, weil er sehr kurz ist, weil er meist nicht scharf umgrenzt ist, sondern sein Anfangs- und Endpunkt bei den meisten Herren einen kleinen Bogen darstellt; wir haben als die beiden Grenzen den tiefsten und anderseits den höchsten Punkt jenes Bogens aufgefasst. Als Systole wurde derjenige Theil der Curve angesehen, welcher sich vom Fusspunkt der primären Erhebung bis zur Rückstosselevation erstreckte; war letztere nicht ganz deutlich als solche zu erkennen, so wurde die Systole als solche ebenso wenig, wie die Diastole bestimmt, sondern nur die ganze Herzrevolution notirt. War die Uebergangsstelle bei der Rückstosselevation ein Bogen, so wurde die Mitte dieses Bogens als Trennungspunkt bezeichnet. Der höchste aus dieser Unsicherheit resultirende Fehler beträgt für die einzelne Pulsbewegung etwa $^1/_4$ Strich $= {}^3/_{100}$ Secunden; dies macht für die Systole etwa 12 pCt., für die Diastole 6—9 pCt. aus, aber nur bei Verwischung der Grenzlinien und für den Einzelfall; da aber der für Systole und Diastole ausgerechnete Werth sich aus 10—20 und noch mehr Einzelpulsen zusammensetzt, so dürften die verbleibenden Fehler recht minimale sein. Wir haben dann ferner noch der Stärke der sogenannten Elasticitätsschwankungen, sowie der Höhe der dicroten Pulswelle in den einzelnen Sphygmogrammen Beachtung geschenkt. Die Höhe liess sich nach dem verticalen

Abstand der Messlinien auf den Pulscurven, der 2 mm betrug, leicht und schnell bestimmen.

Die Pulscurven nun, welche uns jeder einzelne Herr lieferte, wichen in ihrem Profil zum Theil ausserordentlich von denjenigen der anderen Herren ab, auch schon in der Ruhe; andererseits aber glichen, auch nach den Marschanstrengungen, die von demselben Herrn aufgenommenen Sphygmogramme einander oft so sehr, dass der Kenner ohne Weiteres der Curve ansehen konnte, von wem sie stammte. So boten, wie ein Blick auf die folgenden Pulscurven[1]) zeigt, besonders Herr B. (Pulscurve No. 14), sowie Herr P. (Pulscurve No. 76) und Herr S. (Pulscurve No. 2) in ihren Pulscurven einen in der Ruhe sich stets gleich bleibenden Typus dar, welcher sich meist durch die Höhe der primären Erhebung, langsamen Abfall und Deutlichkeit der Rückstosselevation charakterisirte. Bei Herrn C. wie bei Herrn F. beobachteten wir diese Gleichmässigkeit nicht, vielmehr trat häufig ein Wechsel im Profil der Curven in der Ruhe auf. So war bei Herrn C. im Allgemeinen die verticale Ausdehnung der Pulscurve gering; häufig war eine dikrote Welle vorhanden, zuweilen aber sahen wir auch langsamen Abfall und noch seltener einen höheren Anstieg mit deutlich ausgeprägter Rückstosselevation. Alle diese Verschiedenheiten trafen wir, wie wir ausdrücklich hervorheben möchten, an Ruhetagen und stets zu derselben Tageszeit an. Herr F. zeichnete uns noch ungleichmässigere Curven. Meist waren sie niedrig und ohne langsamen Abfall (Pulscurve F. 29), genau wie diejenigen Sphygmogramme, welche die ersten drei Herren nach anstrengenden Märschen lieferten (z. B. S. 46) zuweilen auch mit dikroter Erhebung (Pulscurve F. 11); regelmässig aber sahen wir in der Ruhe starke Dikrotie bei dem gesunden und kräftigen Lazarethgehülfen W. (Curve vom 21. Mai). Herr F. erfreute uns dann gelegentlich aber auch durch einen sehr hohen primären Anstieg (19); aber auch dann fehlte der langsame Abfall, und an seine Stelle trat eine nicht unbeträchtliche Doppelschlägigkeit. Diese Wechselgestalt der Pulscurven, bei denen man meist einen schnellen Abfall und oft Dikrotie findet, scheint der sphygmographische Ausdruck

[1]) Um den Text nicht zu sehr zu zerreissen und um die Vergleichung der Curven zu erleichtern, haben wir dieselben in der hier besprochenen Reihenfolge S. 46 ff. zusammengestellt. Einige später besprochene Curven finden sich S. 70—75.

der Tachycardie zu sein. Denn dass Herr F. eine ausgesprochene Tachycardie aufwies, haben wir schon bei der Betrachtung der Pulsziffern in der Minute wahrgenommen.

Die herangezogenen Beispiele zeigen uns nun noch zu gleicher Zeit, wie bei Herrn B. die Grenzen zwischen Systole und Diastole sich scharf abheben, während bei Herrn P. die Rückstosselevation oft undeutlich ist, ebenso wie der Fusspunkt der primären Erhebung; auch sind die Phasen der einzelnen Pulsschläge nicht immer gleichmässig. Auch bei Herrn C. erschwerte das häufige Auftreten der bogenförmigen allmählichen Uebergänge der einzelnen Abschnitte der Sphygmogramme die scharfe Scheidung, während bei Herrn S. fast stets die primäre Erhebung scharf ansetzte und die einzelnen Zeitabschnitte meist gut übereinstimmten. Herrn F.'s Pulscurven stachen dagegen hervor durch Unregelmässigkeit im Typus wie in den Phasen, doch liess sich Systole und Diastole unschwer trennen.

Gehen wir nun auf die grobe Veränderung ein, welche die Marschanstrengung in dem Profil der Pulscurven hervorbringt, so sehen wir bei Herrn B., wie im Allgemeinen sich der Typus der Ruhe nach dem Marsch nicht verwischt, sondern nur etwas verkleinert erscheint (2 I und II)[1]), öfter auch erheblich niedriger wird (13 I und II). Die drei Curven des 18. Marsches zeigen, wie nach einem 18 km langen, beschwerlichen Marsche das Bild der Pulsbewegung noch dasselbe sein kann, wie vor dem Marsch (18 I und III), nach 25,75 km (18 II) indess sinkt die vorher kräftige Erhebung zu kleinen Buckeln zusammen, ein Zeichen, dass die Arterie — sei es durch stärkere Fülle des Gefässrohrs, sei es in Folge verringerter Elasticität — nicht zu dem früher erreichten Grade der Contraction gelangen kann. Einer der schwersten Märsche mit 31 kg Gepäck bewirkte bei Herrn B. folgende Veränderung: Nach 18 km (Curve 25 III) wurde der Rückstoss kräftiger, um nach 25,75 km (Curve 25 II) in starke Dikrotie bei hoher Pulsfrequenz überzugehen.

Aehnliche Einwirkung der Marscharbeit finden wir bei Herrn P.: Auch hier verkleinert sich der Typus proportional der Marschleistung oft, nachdem die Curve nach den ersten 18 Kilometern kräftiger wurde; dabei wird zuweilen die

[1]) Mit I sind diejenigen Sphygmogramme bezeichnet, die vor dem Marsch, mit II diejenigen, welche nach dem Marsch, und mit III solche, die während des Marsches (nach 18 km) aufgenommen wurden.

Rückstosselevation deutlicher und geht später in Dikrotie über.

Marsch 15. (Curve II, die $^1/_2$ Stunde nach dem Einrücken gezeichnet wurde) bietet ein Beispiel dafür, wie bald nach dem Einrücken der ursprüngliche Puls den flachen, zu Doppelschlägigkeit neigenden, verdrängt.

Die Doppelschlägigkeit nach dem Marsch geht noch regelmässiger aus den Curven des Herrn S. hervor. Wenn auch gerade bei ihm leichte Märsche das Sphygmogramm in der Regel überhaupt wenig verändern, so findet man doch auch schon bei solchen Marschleistungen eine dikrote Welle angedeutet (5 II) namentlich aber bei schwererer Arbeit wie bei Marsch 22 (II). Zuweilen zeigt sich die Doppelschlägigkeit schon vor dem Marsch (23 I), ohne dass sie nach demselben trotz der 31 kg Gepäck stärker wurde (23 II). Oft ist die Dikrotie erst das Resultat der letzten, besonders anstrengenden Kilometer, wie der 28. Marsch beweist, wo nach 18 km der Puls noch den kräftigen Typus zeigte, um dann nach 24,75 km noch mit Dikrotie auf die gewaltige Anstrengung zu reagiren. Herr C. neigt nicht ganz so zur Dikrotie nach dem Marsch, obschon dieselbe sich bei ihm oft schon in der Ruhe zeigt. Leichte Märsche beeinflussen das sphygmographische Bild kaum, höchstens wird die Herzaction gesteigert, wobei sich leichte Doppelschlägigkeit hinzugesellt (5 I und II).

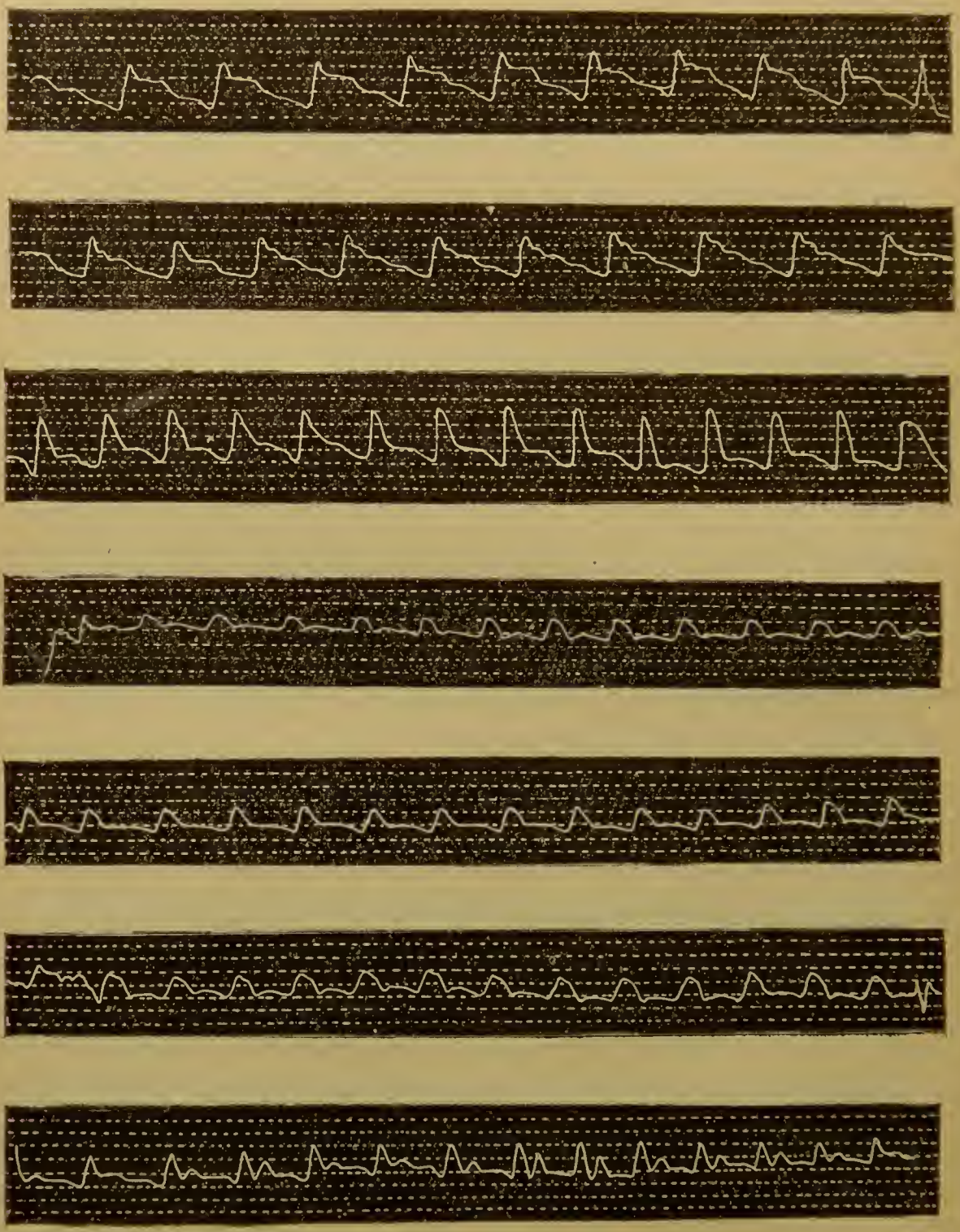
Wie schliesslich der Puls dicht vor der Erschöpfung sich sphygmographisch ausnimmt, konnten wir in Curve 26 II festlegen.

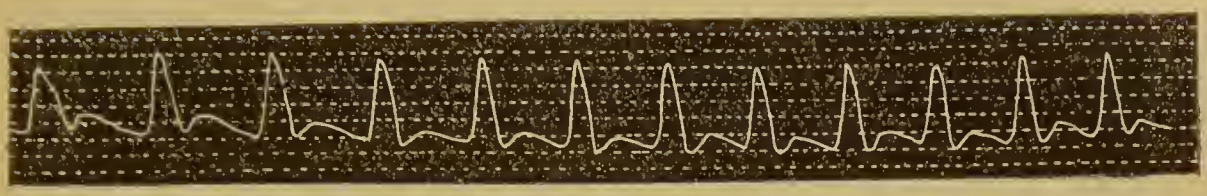
Die interessantesten Sphygmogramme stammen unstreitig von Herrn F., dessen tachycardische Disposition wir schon mehrfach zu erwähnen Gelegenheit hatten. Gleich nach dem ersten, ohne Gepäck vollführten Marsch lieferte er uns die Pulscurve 1 II mit wenig beweglichem Arterienrohr bei hoher Frequenz (156). Indess unterscheiden sich die Curven nach der Arbeit wenig von denjenigen vor derselben, wie die Beispiele des 2. Marsches beweisen; zuweilen mehrt sich nach der Leistung die Ausgiebigkeit der Bewegungen der Radialis (3 I und II), ja wir haben sogar eine der seltenen anakroten Curven von Herrn F. nach Beendigung des 5. Marsches gewonnen. Die betreffende Curve 5 II ist leider verloren gegangen.

Auch wenn später die sphygmographischen Linien schon vor dem Ausrücken oder nach den ersten 18 Kilometern

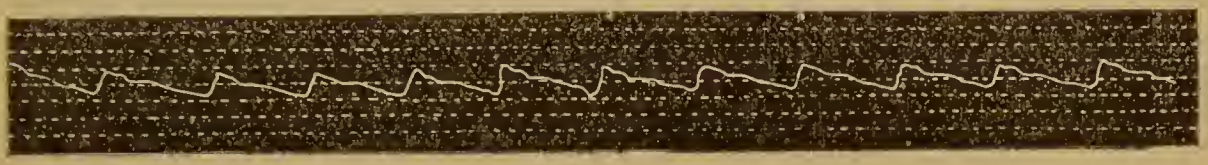
ausgiebiger ausfallen, nach dem Marsch stossen wir immer wieder auf die bekannte kleine und niedrige Pulscurve z. B. F. 19 II, welche für den tachycardischen Puls characteristisch ist.

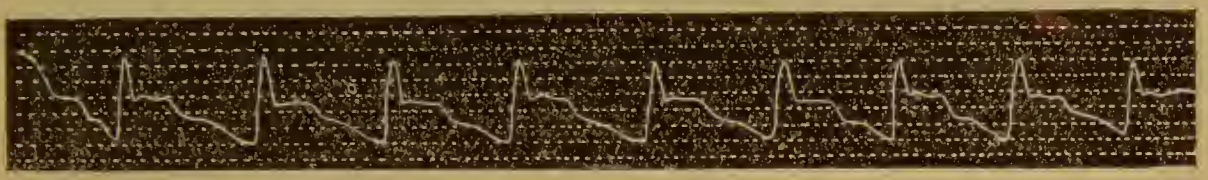
Sphygmogramme.

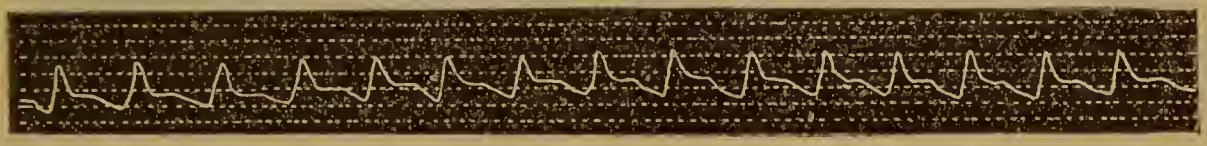



F. 19.

B. 2 I.

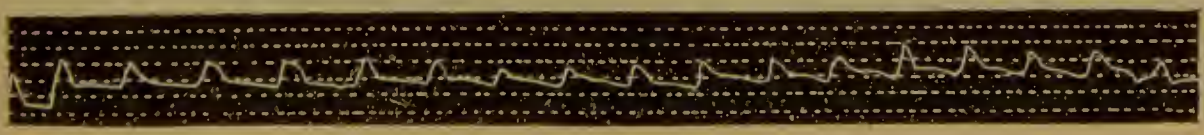

B. 2 II.

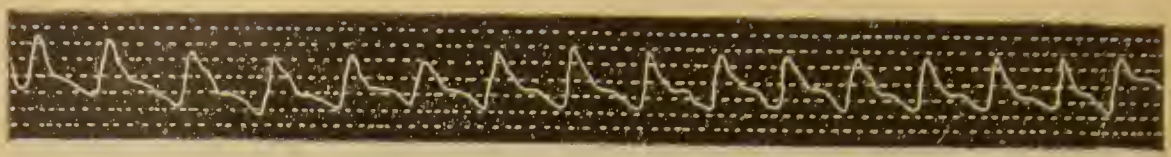

B. 13 I.


B. 13 II.

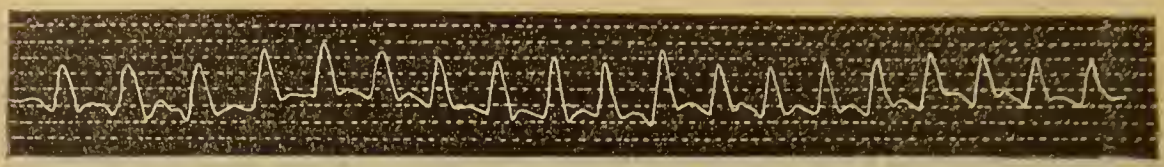
B. 18 I.

B. 18 III.


B. 18 II.

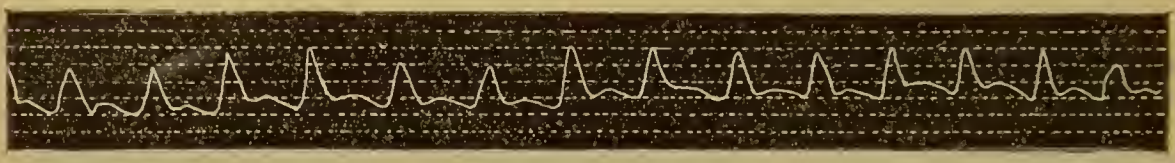


B. 25 III.

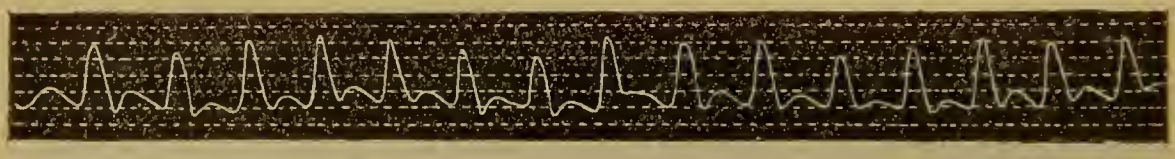


B. 25 II.

P. 15 II.

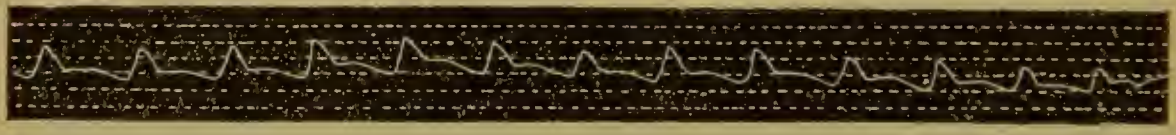


S. 5 II.

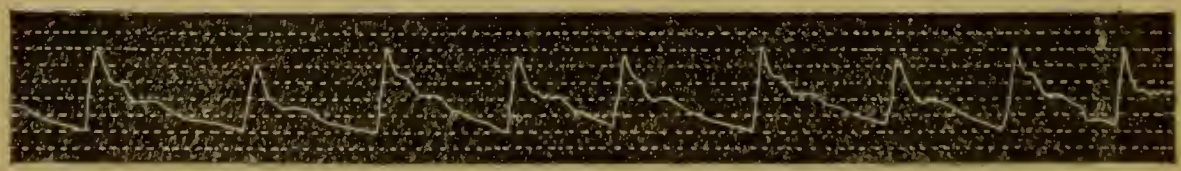


S. 22 II.

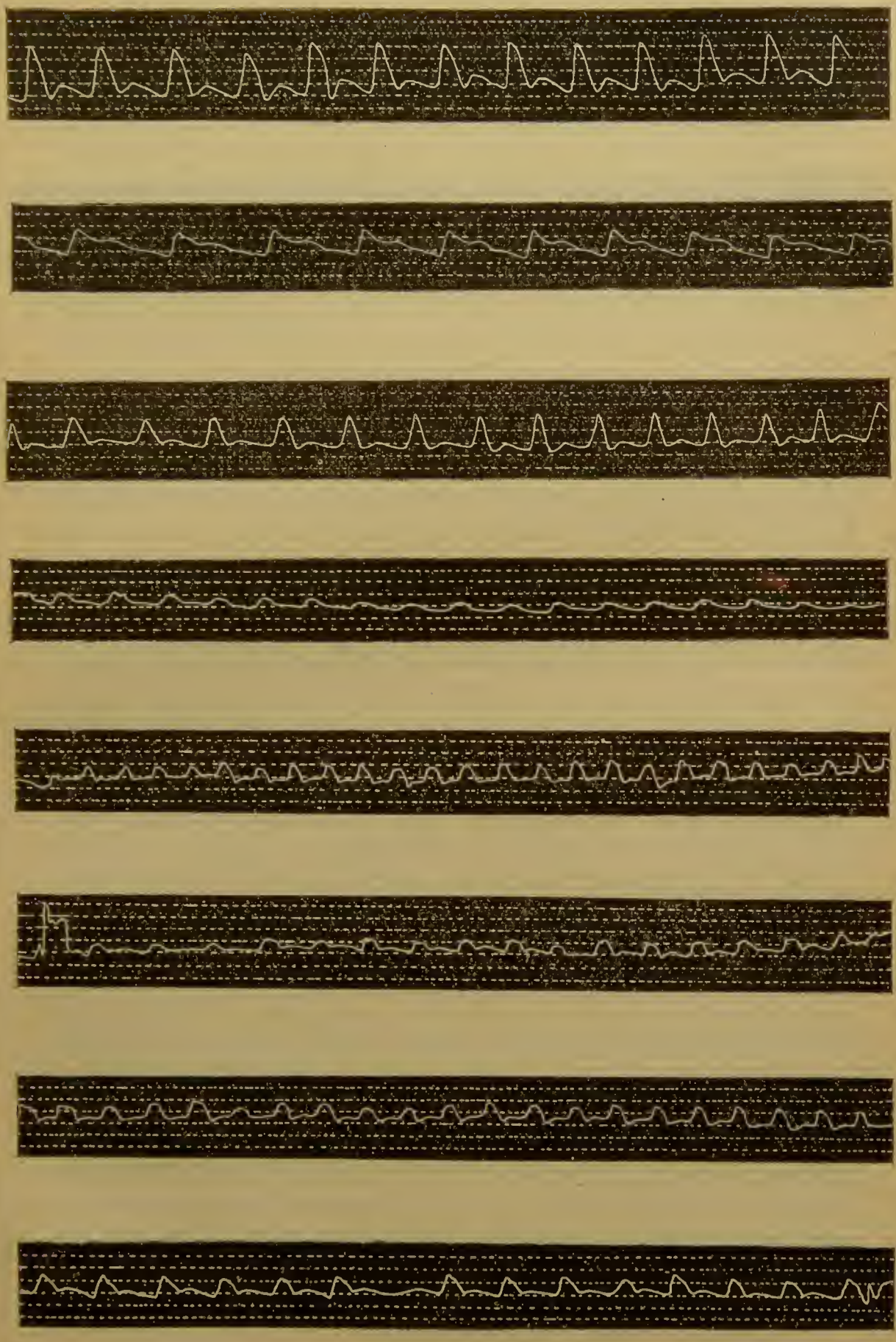
S. 23 I.



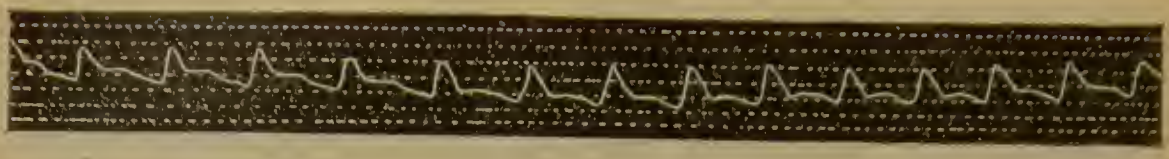
S. 23 II.



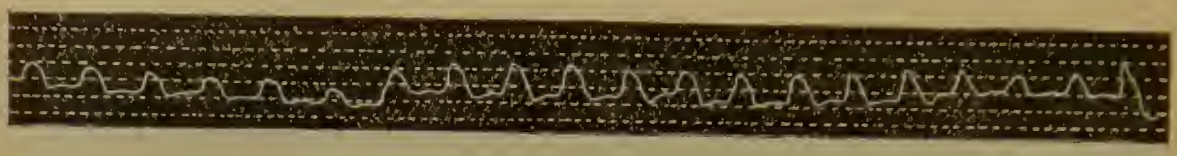
S. 28 III.


S. 28 II.
C. 5 I.
C. 5 II.
C. 26 II.
F. 1 II.
F. 2 I.
F. 2 II.
F. 3 I.

F. 3 11.



F. 19 11.



Aus diesen, aus sehr vielen ganz gleichen Beispielen als Vorbilder herausgegriffenen Sphygmogrammen geht also hervor, dass stärkere Marschleistungen einen Einfluss auf das sphygmographische Profil insofern ausüben, als sie augenscheinlich besonders die Diastole verkürzen, die Bewegung des elastischen Arterienrohrs beschränken und das Zustandekommen der dikroten Welle begünstigen.

Um aber über diese Verhältnisse genaueren Aufschluss zu gewinnen, müssen wir die zeitliche Dauer für die einzelnen Theile der Herzrevolutionen auf allen Sphygmogrammen einer genauen vergleichend-kritischen Betrachtung unterziehen und zwar der Reihe nach die primäre Erhebung, die Systole, die Diastole, das Verhältniss der Diastole zur Systole $\frac{D}{S}$ und schliesslich die Elasticitätsschwankungen und die Dikrotie der Häufigkeit ihres Vorkommens und ihrer Grösse nach. Die zeitliche Dauer der ersten drei Phasen ist in den Tabellen stets in hundertstel Secunden aufgeführt.

Bei den Messungen sind wir für die Bestimmung der Systolendauer von der heute wohl allgemein anerkannten Deutung ausgegangen, dass die Rückstosselevation beziehungsweise deren stärkere Ausprägung als dikrote Welle durch den Schluss der Semilunarklappen bedingt ist. Der Beginn dieser Welle markirt uns daher mit genügender Schärfe den Anfang der Diastole. Für den eigentlichen Anfang der Systole fehlt uns an der Pulscurve ein Kennzeichen, da während der sogenannten Anspannungszeit des Ventrikels, welche von Hürthle[1]) beim Hunde zu 0,02 bis 0,03 Secunden bestimmt, für den Menschen zu 0,05 bis 0,06 geschätzt wurde, die Semilunarklappen noch geschlossen sind.

[1]) Pflüger's Archiv. Bd. 49. S. 66.

das Arteriensystem daher durch die Spannungsänderung im Ventrikel nicht beeinflusst wird. Erst in dem Moment der Contraction, in welchem die Spannung im Ventrikel die in der Aorta übertrifft und daher die Semilunarklappen sich öffnen, beginnt der jähe Anstieg der primären Erhebung.

Fast um ebensoviel wie die primäre Welle dem Beginn der Systole, hinkt der Beginn der dikrotischen Welle, beim Hunde wenigstens, wie Hürthle[2]) gezeigt hat, dem Ende der Systole nach, wir können daher die Zeit vom Beginn der primären Erhebung bis zum Beginn der Rückstosselevation in der That als Zeit der Systole in Rechnung stellen.

Eine kleine Ungenauigkeit erfährt noch die Bestimmung dieser Periode dadurch, dass die Wellen sich im Arterienrohr mit verschiedener Geschwindigkeit fortpflanzen, wenn die Spannung verschieden ist. Nun ist aber die Spannung im Moment des Klappenschlusses schon erheblich unter das Maximum gesunken, daher dürfte die Schlusswelle dem Fusspunkte der primären Erhebung nur um weniger als 0,01 Secunden voraneilen. Diese geringe Phasenverschiebung kommt für uns umsoweniger in Betracht, als sie in allen Versuchen ziemlich den gleichen Werth haben dürfte.

Die Zeitdauer der primären Erhebung umfasst den Zeitraum, während dessen vom Herzen mehr Blut in das Arterienrohr eingepresst wird, als gleichzeitig nach der Peripherie abfliesst. Die Länge dieses Zeitraums wird offenbar von mehreren Momenten bestimmt, welche theils einander verstärken, theils sich entgegen wirken. Je mehr Blut sich im Ventrikel befindet, je grösser also das „Schlagvolum“ ist, desto länger wird ceteris paribus die primäre Erhebung dauern; verkürzt wird sie dagegen einerseits durch kräftigere, schnellere Entleerung des Ventrikels, andererseits durch Erweiterung der peripheren Gefässe, wie sie bei den Marschirenden sowohl in den thätigen Muskeln als auch im Bereich der Haut stattfindet.

Betrachten wir zuerst die zeitliche Dauer der primären Erhebung. Die aus den Sphygmogrammen der Ruhe berechneten Werthe sind in der zweiten der beiden Tabellen (s. die folgenden Seiten), diejenigen aus den Marsch-Pulscurven in der ersten zusammengestellt. Dabei möchten wir nicht unterlassen zu bemerken, dass wir mit I immer die Puls-

[2]) Pflüger's Archiv. Bd. 49. S. 66.

Tabelle No. 1.

Zeitdauer der primären Erhebung an Marschtagen in hundertstel Secunden.

	B.			P.			C.			S.			F.		
	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III	II
1	4	—	6	6	—	6	6	—	4	6	—	9	—	—	4
2	6	—	6	6	—	6	6	—	9	8	—	8	3	—	6
3	—	—	6	—	—	6	6	—	—	8	—	9	6	—	8
4	—	—	9	—	—	—	6	—	6	6	—	8	6	—	9
5	6	—	9	—	—	8	9	—	6	8	—	9	6	—	8
6	6	—	9	6	—	—	6	—	9	8	—	8	6	—	8
7	6	6	9	6	—	6	6	—	6	8	—	8	6	6	6
8	6	—	9	8	—	8	—	—	—	8	—	8	8	6	9
9	—	6	6	—	6	6	6	—	9	8	8	8	6	6	8
10	6	—	8	6	—	8	4	—	—	9	—	8	6	—	6
11	—	6	9	—	9	6	—	9	9	—	9	9	—	8	8
12	4	—	—	6	9	9	9	12	6	8	6	8	—	—	—
13	6	6	8	8	9	10	—	—	—	6	8	8	8	8	6
14	6	—	8	8	8	9	6	9	6	8	8	9	8	—	6
15	—	—	—	—	8	8	6	6	8	8	10	9	—	—	—
16	—	6	8	—	—	—	—	8	6	—	8	8	—	—	—
17	—	6	—	—	—	—	6	9	6	6	8	9	6	6	6
18	6	6	6	6	6	6	—	—	—	9	8	9	6	6	6
19	—	6	9	6	6	10	—	—	—	6	6	9	6	6	6
20	6	4	8	—	—	6	8	8	9	8	9	6	6	6	4
21	4	9	6	—	6	6	—	—	—	6	6	6	6	6	6
22	6	6	—	—	6	—	—	—	—	8	6	6	—	6	6
23	—	6	6	—	6	6	6	9	9	6	—	9	6	6	6
24	—	—	—	—	6	—	6	9	9	6	6	6	6	6	8
25	6	6	6	6	6	9	8	9	9	—	—	—	6	6	6
26	—	9	6	—	8	—	—	—	12	—	6	6	—	8	6
27	—	—	—	—	6	6	—	9	6	—	6	8	—	6	6
28	—	6	9	-	6	8	—	—	—	—	8	4	—	6	6
Mittel	5,6	6,3	7,1	6.5	6,1	7,3	6.4	8,8	7,6	7.36	7.41	7.85	6.1	6.3	6.5

curve vor dem Marsch, mit II diejenige nach dem Marsch und mit III solche Sphygmogramme bezeichnet haben, welche während des Marsches meist nach 18 km auf Haltepunkten gewonnen wurden.

Die in der untersten Horizontalreihe der Tabelle 1 enthaltenen Mittelzahlen beweisen auf das Deutlichste, wie durch die Marscharbeit derjenige Theil der Systole eine Verlängerung erfährt, welcher graphisch durch die primäre Erhebung wieder-

Tabelle No. 2.
Zeitdauer der primären Erhebung an Ruhetagen in hundertstel Secunden.

Datum	B.	P.	C.	S.	F.
24. April	6 6 9 6	6 6 6 8	6	6 6	—
25. „	—	4 6 4	—	4 6 4	6 6
26. „	—	—	6	—	—
27. „	6	6	—	6	6
28. „	4	8 6	6 6 9	6 6	6 6 6
1. Mai	6	6	9	6	6
4. „	6	—	6	6	9
7. „	6	—	6	8	8
10. „	6	6	9	6 6	8
21. „	6	6	6	8	8
25. „	6	—	6	6	8
26. „	8	8	6	8	6
28. „	—	—	—	—	8 8
1. Juni	6	8	6	6	8
4. „	6	6	9	6	8
5. „	6	—	6	6	6
7. „	9	4	8	8	8
8. „	—	—	—	—	8
11. „	—	—	—	6	—
12. „	—	—	—	6	8
15. „	6	6	—	6	6
18. „	6	6	9	6	6
25. „	6	—	—	6	9
29. „	—	—	8	8	6
30. „	6	—	—	—	—
2. Juli	6	6	6	6	6
4. „	6	—	—	—	—
6. „	6	—	8	8	8
Mittel	6,25	6.1	7.04	6.2	7,1

gegeben wird und zwar — mit Ausnahme des Herrn P. — bereits nach einem Wege von 18 km. Die Zahlen aus der zweiten

Tabelle, welche die Werthe der Ruhetage wiedergiebt, sind theils höher, theils niedriger als die in der Frühe, unmittelbar vor dem Antritt des Marsches gewonnenen Zahlen; indes auch die höheren Ruhezahlen der zweiten Tabelle bei Herrn B. und C. erfahren noch durch die körperliche Arbeit des Marsches eine Steigerung. Nur Herr F. mit einer primären Erhebung von durchschnittlich 0,071 Secunden an den Ruhetagen bleibt während der Märsche hinter dieser Zahl zurück. Die auch bei Herrn B. und C. zu Tage tretende Verkürzung der primären Erhebung durch die mit den Vorbereitungen zum Marsch verbundene Erregung ist bei Herrn F. recht erheblich, wie die Zahl 0,061 Secunden, erhalten aus den Bestimmungen vor dem Marsch, gegen 0,071 an Ruhetagen, beweist. Wir erwähnten schon weiter oben die hohe Pulsfrequenz (99), durch welche uns Herr F. so häufig bei den Vorbereitungen zum Marsch auffiel (Tachycardie). Die geringere Zeitdauer von 0,061 Secunden für den aufsteigenden Theil der Systole bei Tachycardie gegenüber 0,071 bei ruhigerer Herzaction ist wohl so zu verstehen, dass bei Tachycardie die bei jeder Systole ins Aortensystem beförderte Blutmenge kleiner ist als bei normaler Pulsfrequenz. Folge davon ist, dass früher während der Systole der Zeitpunkt eintritt, in welchem die nach den Capillaren abfliessende Blutmenge die gleichzeitig aus dem Ventrikel entleerte übertrifft. In diesem Moment muss aber der Hebel des Sphygmographen zu sinken beginnen. Wie unsere Zahlen in Harmonie mit den älteren Erfahrungen lehren, ist dies etwa am Ende des ersten Drittels der Austreibungsperiode der Fall. Da bei der Arbeit, solange die Pulsfrequenz nicht übermässig anwächst, das Schlagvolum des Herzens erheblich vergrössert, in unserem Falle gegenüber der Ruhe wenigstens verdoppelt ist,[1]) so erklärt sich hieraus die längere Dauer der primären Erhebung während des Marsches. Am Schlusse des Marsches ist bei nur wenig gesteigertem Sauerstoffverbrauch gegenüber dem unermüdeten Zustande die Pulsfrequenz meist noch erheblich gewachsen, daher wohl das Schlagvolum kleiner geworden; auch die Abflusswege sind gewiss nicht enger geworden, eher, wenigstens

[1]) Dies ergiebt sich daraus, dass der um das Vierfache gesteigerte Sauerstoffverbrauch (vergl. Tabelle der Respirationsversuche) ohne eine entsprechende Steigerung der umlaufenden Blutmenge gar nicht möglich ist (vergl. auch Zuntz und Hagemann, Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit. S. 404 ff.).

Tabelle No. 3.

Zeitdauer der Systole an Marschtagen in hundertstel Secunden.

	B.			P.			C.			S.			F.		
	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III	II
1	—	—	—	18	—	21 21	24	—	15	24	—	24	—	—	15
2	24	—	24	21	—	24 24	24	—	24	24	—	24	18	—	18
3	—	—	24	—	—	—	24	—	—	24	—	24	24	—	24
4	—	—	30	—	—	—	24	—	—	24	—	21	24	—	24
5	15	—	24	—	—	20	24	—	24	18	—	24	21	—	24
6	—	—	15	15	—	—	15	—	18	21	—	21	24	—	21
7	18 18	12	24	18 24	18	—	21	—	21	21	—	21	24	24	18
8	24	—	24	20	—	24	18	—	—	24	—	24	24	24	24
9	—	24	—	—	15	21	18	—	24	24	27	24	24	21	24
10	24	—	21	16	—	24	15	—	—	21	—	24	21	—	18
11	—	24	21	—	27	21	—	24	24	—	27	24	—	—	—
12	12	—	—	15	18	24	18	24	24	21	24	27	24	27	27
13	15	24	24	15	18	20	—	—	—	24	24	24	27	24	24
14	—	—	24	12	18	21	21	24	24	27	24	24	21	—	21
15	—	—	—	—	21 20	21	18	27	24	18	27	24	—	—	—
16	—	27	18	—	—	—	—	24	24	—	24	24	—	—	—
17	—	24	—	—	—	—	15	24	21	24	27	24	21	24	21
18	27	27	15	24	24	21	—	—	—	24	30	24	24	24	24
19	—	24	24	24	27	27	—	—	—	24	24	21	24	27	18
20	15	24	24	—	—	21	16	24	24	24	27	21	24	24	18
21	24	30	21	—	27	24	—	—	—	24	24	18	21	24	21
22	—	—	—	—	27	—	—	—	—	18	24	21	—	24	21
23	24	—	21	—	24	21	18	27	24	18	—	24	21	24	21
24	—	—	—	—	27	—	21	24	24	21	30	21	21	24	24
25	15	27	21	24	24	21	24	24	27	—	—	—	24	24	21
26	—	24	18	—	27	—	—	—	24	—	24	21	—	24	21
27	—	—	—	—	—	21	—	24	21	—	24	21	—	24	24 21
28	—	24	24	—	27	21	—	—	—	—	30	24	—	24	24
Mittel	19,3	24.2	22,5	18,9	23,4	21,9	20	26	23,9	22,5	25,9	22.9	22,8	24.1	21,4

im Bereiche der Haut, noch stärker erweitert; wenn trotzdem das am Ende des Marsches aufgenommene Sphygmogramm II eine längere Dauer der primären Erhebung aufweist, als Sphygmogramm III etwa in der Mitte des Marsches, so bleibt hierfür kaum eine andere Erklärung als die, dass das ermüdete Herz sich träger contrahirt, keinen so hohen Druck

Tabelle No. 4.

Zeitdauer der Systole an Ruhetagen in hundertstel Secunden.

Datum	B.	P.	C.	S.	F.
24. April	21 18 21 15	15	—	—	—
25. „	—	12	—	24 24 24	18 21
26. „	—	15	24	—	—
27. „	21	27	—	24	18
28. „	—	—	21 21 24 21	24 21	24 24 21
1. Mai	15	24	21	24	24
4. „	24	—	24	24	24
7. „	15	—	24	24	24
10. „	24	27	24	24 24 18	24
21. „	18	15	21	24	24
25. „	—	—	21	24	24
26. „	15	15	—	24	27
28. „	—	—	—	—	21 24
1. Juni	15	—	21	24	24
4. „	—	24	24	21	24
5. „	—	—	18	24	27
7. „	—	—	24	24	24
8. „	—	—	—	—	24
11. „	—	—	—	24	—
12. „	18	—	—	24	27
15. „	24	30	—	24	21
18. „	24	24	24	20	21
25. „	—	—	24	24	24
29. „	24	—	24	24	18
30. „	24	—	—	—	—
2. Juli	24	24	24	21	21
4. „	24	—	—	—	—
6. „	—	—	24	27	21
Mittel	20	21	22.6	23,3	2.29

auf den Inhalt ausübt wie das frischere, und daher mehr Zeit braucht, ehe der Moment erreicht ist, in welchem die ausgetriebene Blutmenge unter den peripheren Abfluss sinkt. Lange Dauer der primären Erhebung bei hoher Pulsfrequenz dürfte daher als Zeichen stärkerer Ermüdung des Herzmuskels aufzufassen sein, besonders wenn gleichzeitig starke Erweiterung der Hautgefässe besteht, der Abfluss also erleichtert ist.

Einen klareren Einblick gewinnen wir noch, wenn wir die Veränderung der ganzen Systolendauer vom Fusspunkt der primären Erhebung bis zum Einsetzen der Rückstosselevation vor, während und nach dem Marsch vergleichen (s. Tab. No. 3 u. 4).

Aus den für die einzelnen unter den Spalten I, III und II niedergelegten Mittelzahlen, geht nun ganz klar die hochbedeutsame Thatsache hervor, dass schon durch eine Marschleistung mit Gepäck von 18 km die Zeitdauer der Systole absolut verlängert wird, und zwar (Herr C.) zuweilen bis um 30 pCt. und ferner dass auf diese Verlängerung der Systole die Weglänge im Allgemeinen keinen grossen Einfluss hat.

Auch hier fallen die Mittelziffern an den Ruhetagen durch etwas grössere Höhe auf (Grund: Spätere Tageszeit, Fehlen der Aufregung); doch werden sie durch die hohen Zahlen während (III) und nach (II) den Märschen noch weit überholt.

Es ist nun interessant zu erfahren, ob diese nachgewiesene zeitliche Verlängerung der Systole Hand in Hand geht mit der steigenden Belastung des Soldaten. Zu diesem Zweck haben wir von denjenigen Systolewerthen, welche wir während und nach dem Marsch erhielten, den bei jedem Marsch höchsten Werth ausgesucht und diese Werthe in 3 Gruppen vertheilt.

Gruppe I umfasst die höchsten Systolewerthe der Märsche bei einer Belastung von nicht mehr als 22 kg Gepäck, Gruppe II diejenigen bei höchstens 27 kg Last und Gruppe III bei 31 kg. Die erste der folgenden Tabellen enthält die Resultate dieser Berechnung für die primäre Erhebung, die zweite für die Systole vom Fusspunkt der primären Erhebung bis zur Rückstosselevation.

Entsprechend der vorher dargelegten Complicirtheit der die Dauer der primären Erhebung bedingenden Momente

sehen wir keine einheitliche Beeinflussung derselben durch die Grösse der Belastung; um so deutlicher tritt der Einfluss derselben auf die ganze Dauer der Systole in der folgenden Tabelle (No. 6) uns entgegen.

Tabelle No. 5.

Zeitdauer der primären Erhebung nach der Arbeit der Märsche der Gruppen I, II und III in hundertstel Secunden.

	B.	P.	C.	S.	F.
Gruppe I . .	7,8	6,9	7,6	8,1	7,2
Gruppe II . .	8,1	8,3	9,7	8,1	6,9
Gruppe III .	6,5	6.8	8.7	8,2	6,3

Bei sämmtlichen Herren bewirkte die Gepäckvermehrung um 5 kg eine Verlängerung der Systole bis um 19 pCt., ein weiterer Zuwachs der Last um 4 kg (bis 31 kg) noch eine weitere Verlängerung bis in maximo 6 pCt. Zur Erklärung dieser bisher unbekannten

Tabelle No. 6.

Zeitdauer der ganzen Systole nach der Arbeit der Märsche der Gruppen I, II und III in hundertstel Secunden.

	B.	P.	C.	S.	F.
Gruppe I . .	23,7	20.1	21,8	23,7	21,8
Gruppe II . .	24,4	23,9	24,0	25,1	23,6
Gruppe III .	25,5	24,0	25,3	26,6	24.0

Thatsache reicht wohl die Zunahme der vom Herzen zu bewegenden Blutmasse bei der schweren Arbeit nicht aus; denn da die Pulsfrequenz gleichzeitig erheblich wächst (Vergl. Tabelle auf S. 36 und 37) dürfte das Schlagvolum kaum zunehmen. Wir müssen daher in der Verlängerung der Systolendauer einen Ausdruck der Ermüdung des Herzmuskels sehen, analog jener bereits am ausge-

Tabelle No. 7.

eitdauer der Diastole an den Marschtagen in hundertstel Secunden.

des Marsches	B.			P.			C.			S.			F.		
	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III	II
1	—	—	—	48	—	42 60	48	—	36	60	—	36	—	—	18
2	60	60	48	48	—	39 42 48	48	—	48	51	—	42	30	—	24
3	—	—	72	—	—	—	60	—	—	48	—	48	36	—	42
4	—	—	70	—	—	—	54	—	42	60	—	42	36	—	27
5	60	—	36	—	—	60	60	—	46	51	—	39	33	—	24
6	—	—	60	72	—	—	72	—	42	45	—	39	33	—	30
7	72 84	60	36	48 56	—	39	60	—	30	54	—	36	39	36	24
8	48	—	48	66	—	48	—	—	—	48	—	42	48	42	47
9	—	—	—	—	72	36	54	—	42	54	60	42	39	42	27
10	66	—	48	57	—	42	72	—	—	60	—	36	33	—	24
11	—	60	36	—	51	30	—	48	36	—	51	36	—	—	—
12	72	—	—	72	48	42	60	39	36	60	48	42	48	54	36
13	81	72	36	60	48	39	—	—	—	57	57	40	40	36	33
14	—	—	42	72	54	30	66	42	36	66	60	42	36	—	30
15	—	—	—	—	36 42	36	72	39	30	60	48	36	—	—	—
16	—	60	48	—	—	—	—	36	39	—	48	42	—	—	—
17	—	48	—	—	—	—	52	48	33	48	54	30	51	36	16
18	72	69	33	63	36	21	—	—	—	66	54	36	36	36	18
19	—	57	27	42	36	30	—	—	—	48	45	36	48	42	21
20	63	54	30	—	—	33	66	54	30	54	48	36	36	36	18
21	60	60	30	—	45	39	—	—	—	48	60	36	42	30	27
22	—	—	—	—	45	—	—	—	—	54	48	33	—	39	24
23	—	48	27	—	42	36	57	42	39	48	—	48	36	36	21
24	—	—	—	—	54	—	48	42	36	51	54	36	36	39	27
25	72	30	27	60	36	33	54	48	33	—	—	—	36	39	27
26	—	50	24	—	33	—	—	—	24	—	45	27	—	36	18
27	—	—	—	—	—	42	—	60	42	—	54	36	—	45	36 27
28	—	60	30	—	60	36	—	—	—	—	63	42	—	51	36
Mittel	67,5	56.5	39.9	58,8	52,4	39,2	59	45,3	36,3	54,1	52,7	38,4	38,6	39,7	26,2

schnittenen Froschmuskel bei electrischer Reizung studirten Erscheinung, dass die Ermüdung des Muskels sich in einer verlangsamten Contraction kund giebt.

Die Diastole des Herzens verhält sich ganz anders als die Systole. Die absoluten Zahlen für dieselbe haben wir

Tabelle No. 8.

Zeitdauer der Diastole an Ruhetagen in hundertstel Secunden.

Datum	B.	P.	C.	S.	F.
24. April	64 54	60	—	—	36 36
25. „	—	63 60	—	36 36 36	—
26. „	—	—	54	—	—
27. „	60	60	—	48	45
28. „	—	—	48 48 48 48	48 48	51 36 48
1. Mai	51	54	60	51	60
4. „	60	—	60	57	33
7. „	72	—	60	48	42
10. „	48	63	51	60 36 54 40 48	48
21. „	72	54	48	54	42
25. „	—	—	60	48	48
26. „	81	66	—	57	48
28. „	—	—	—	—	36 48
1. Juni	84	—	72	64	60
4. „	—	66	51	60	51
5. „	—	—	60	52	45
7. „	—	63	72	60	42
8. „	—	—	48	—	54
11. „	—	—	—	54	—
12. „	—	—	—	60	30
15. „	45	63	—	60	39
18. „	60	51	—	54	36
25. „	72	—	54	60	48
29. „	—	—	60	60	33
30. „	52	—	—	—	—
2. Juli	60	60	60	51	39
4. „	60	—	—	—	—
6. „	—	—	51	51	30
Mittel	62.2	60.2	55.5	51.4	43.1

für die Marschtage sowohl wie für die Ruhetage in die beiden vorstehenden Schemata (Tab. No. 7 u. 8) gebracht.

Während also die Systole infolge der Marschirarbeit immer mehr Zeit und zwar proportional der fortzubewegenden Last für sich in Anspruch nimmt, wird die Diastole ganz erheblich kürzer, bis um 59 pCt. (Herr B.) und 62 pCt. (Herr C.). Es geschieht dies ganz gleichmässig bei sämmtlichen Herren und, wie aus der ersten der vorstehenden Tabellen hervorgeht, im Verhältniss zur Länge des Weges: denn die Werthe aus Spalte III sind nach 18 km Weges, jene in Spalte II am Schluss des Marsches nach 24,75 km erhalten worden. Nur Herr F. macht mit seinem tachycardischen Puls und einer Diastole von 0,386 Secunden Dauer vor dem Marsch gegenüber einer zeitlichen Länge der Diastole an Ruhetagen von 0,43 Secunden eine Ausnahme.

Dass aber auch die Schwere der Belastung einen gewichtigen Factor bei der Verkürzung der Diastole abgiebt, geht aus der folgenden Zahlenzusammenstellung für die drei Gruppen der leichten (I), mittelschweren (II) und schweren (III) Märsche (22, 27, 31 kg Gepäck) hervor.

Tabelle No. 9.

Zeitdauer der Diastole nach der Arbeit der Märsche der Gruppen I. II und III in hundertstel Secunden.

	B.	P.	C.	S.	F.
Gruppe I . .	46,0	42,8	37.5	39,0	27,0
Gruppe II. .	40.3	36.0	37.5	38,8	28.3
Gruppe III .	35.5	36.9	33,9	37.1	21,6

Wir sehen also, dass die Weglänge beim Marschiren die Diastole verkürzt, dass aber das schwere (27 kg) und sehr schwere (31 kg) Gepäck des Soldaten das Herz desselben in der Art beeinflusst, dass die Zusammenziehung immer langsamer vor sich geht und daher bei gleichzeitig immer zunehmender Frequenz für die Ausdehnung weniger Zeit übrig bleibt. Dass die erstere Veränderung eine tiefere Störung der gewohnten Function bedeutet, als die letztere, ist durch frühere physiologische Experimente bewiesen.

Recht augenscheinlich werden die auf den Herzmuskel

Tabelle No. 10.

Verhältniss der Diastole zur Systole $\frac{D}{S}$ an den Marschtagen.

No. des Marsches	B.			P.			C.			S.			F.		
	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III	II
1	—	—	—	2,7	—	2,29	2,0	—	2,4	2.5	—	1,5	2,5	—	1.2
2	2,5	—	2,0	2,3	—	1,6 1,17	2,0	—	2,0	2,12	—	1.75	1.7	—	1.33
3	—	—	3,0	—	—	—	2,5	—	—	2,0	—	2,0	1,5	—	1.75
4	—	—	2,0	—	—	—	2,25	—	1,75	2.5	—	2.0	1,5	—	1.25
5	4.0	—	1,5	—	—	3,0	2,5	—	1,5	2.83	—	1.625	1.57	—	1.0
6	—	—	4,0	4,8	—	—	4,8	—	2,37	2,14	—	1,86	1.375	—	1.43
7	4,0 4,6	5,0	1,5	2,3 2,7	—	2,3	2.85	—	1,4	2,57	—	1.07	1.625	1,5	1.33
8	2,0	—	2,0	3,3	—	2,0	—	—	—	2.0	—	1,75	2,0	1.75	1.125
9	—	2,62	—	—	4,8	1,7	3,0	—	1,75	2,25	2,22	1.75	1.625	2.0	1.125
10	2,75	—	2,3	3,5	—	1.75	4.8	—	—	2.857	—	1.5	1.57	—	1.33
11	—	2.5	1.7	—	1,88	1,43	—	2,0	1,5	—	1,88	1,5	—	—	—
12	6,0	—	—	4,5	2,7	1,75	3,33	1,625	1,5	2,857	2,0	1,55	2.0	2,0	1.33
13	5,4	3.0	1,5	4,0	2,7	2,0	—	—	—	2,4	2.4	1.66	1.48	1.5	1.375
14	—	—	1,75	6,0	3,0	1,43	3,1	1.75	1,5	2,44	2,5	1,75	1.7	—	1.43
15	—	—	—	—	1,7 2,1	1.7	4,0	1,44	1,25	3,33	1,77	1.5	—	—	—
16	—	2,22	2,7	—	—	—	—	1,5	1,625	—	2,0	1,75	—	—	—
17	—	2.0	—	—	—	—	3,46	2,0	1.5	2,0	2,0	1.25	2.43	1,5	0.76
18	2.63	2.55	2,2	2,6	1,5	1,0	—	—	—	2.75	1,8	1.5	1,5	1.5	0.75
19	—	2,37	1,12	1,75	1,3	—	—	—	—	2,0	1.9	1.7	2.0	1.185	1.17
20	4,0	2,3	1,3	—	—	1,8	4,1	2.25	1,25	2,25	1,08	1.7	1.5	1.5	1.0
21	2,5	2,0	1,4	—	1,7	1,57	—	—	—	2,0	2,5	2,0	2,0	1,25	1.3
22	—	—	—	—	1,7	—	—	—	—	3.0	2,0	1.5	—	1,6	1.14
23	—	2,0	1,3	—	1,75	1,7	3,1	1,55	1,62	2.7	—	2,0	1.7	1.5	1.0
24	—	—	—	—	2,0	—	2.3	1,75	1.5	2,4	1.8	1.7	1.71	1,625	1.1
25	4,8	1,1	1,3	2,5	1,5	1,5	2,25	2,0	1,22	—	—	—	1,5	1.625	1.29
26	—	2,0	1,3	—	1,22	—	—	—	1,0	—	1,9	1.3	—	1.5	0.85
27	—	—	—	—	—	2,0	—	2,5	2,0	—	2.25	1.7	—	1.9	1.29 1.5
28	—	2,5	1,25	—	2,22	1,7	—	—	—	—	2.1	1,75	—	2.1	1.5
Mittel	3.76	2,44	1,86	3,05	2,1	1.78	3,08	1,85	1,61	2.45	2,05	1.67	1.74	1.62	0.93

eindringenden Schädigungen durch das Marschiren bei hoher Belastung, wenn wir die zeitliche Dauer der Systole und der Diastole jedes Mal in ein Verhältniss zu einander bringen, beide als Bruch $\frac{D}{S}$ darstellen, bei welchem die Systole den

Tabelle No. 11.

Verhältniss der Diastole zur Systole $\frac{D}{S}$ an Ruhetagen.

Datum	B.	P.	C.	S.	F.
24. April	3.0	4,0	—	—	2,0 1,7
25. „	3,6	5.0 4,2	—	1,5 1.5 1,5	—
26. „	—	—	2,25	—	—
27. „	2,85	2.2	—	2,0	2,5
28. „	—	—	2,285 2,0 2,285 2,285	2,0 2,3	2,1 1,5 2,28
1. Juni	3.4	2,25	2,857	2,1	2,5
4. „	2,5	—	2,5	2,4	1,4
7. „	4.8	—	2,5	2,0	1,75
10. „	2.0	2,3	2,125	2,5 1,5 2,25 1,66 2,66	2,0
21. „	4,0	3,6	2,285	2,25	1,75
25. „	—	—	2,857	2,0	2,0
26. „	5.4	4,4	—	2,375	1,77
28. „	—	—	—	—	1,7 2,0
1. Juli	5,6	—	3,4	2,66	2,5
4. „	—	—	2,1	2,857	2,125
5. „	—	—	3,3	2,166	1,66
7. „	—	2,3	3,0	2,5	1,75
8. „	—	—	2,0	—	2,25
11. „	—	—	—	2,25	—
12. „	—	—	—	2,5	1,11
15. „	2,7	2,1	—	2,5	1,85
18. „	2,5	2.1	—	2,7	1,7
25. „	3,0	—	2,1	2,5	2,0
29. „	4	—	2,5	2,5	1,83
30. „	2,2	—	—	—	—
2. Mai	2,5	2,5	2,5	2,4	1.857
4. „	2,5	2,75	—	—	—
6. „	—	—	2,1	1,9	1,4
Mittel	3,28	3,05	2,46	2,2	1.88

Nenner, die Diastole den Zähler darstellt. Die Marschveränderungen verkleinern dann diesen Bruch in doppelter Weise, nämlich einerseits durch Vergrösserung des Nenners (das heisst Verlängerung der Systole), andererseits durch Verminderung des Zählers (das heisst Verkürzung der Diastole). Wir erhalten dann unter Zugrundelegung dieser Betrachtungen, durch Rechnung vorstehende beiden Tabellen (No. 10 und 11), in welchen die Quotienten $\frac{D}{S}$ zusammengestellt sind.

Da zeigt sich nun, dass im gleichen Schritt zur Weglänge $\frac{D}{S}$ immer kleiner wird, unter Umständen (Herr B.) bis auf die Hälfte der ursprünglichen Grösse, dass der Quotient sogar (Herr F.) unter 1 sinken kann; die Märsche aber, bei denen bei Herrn F. der Bruch auf 1 und unter 1 fiel, waren diejenigen, bei welchen der betreffende Herr an der Grenze seiner Leistungsfähigkeit angelangt war. Herr C. war schon bei einer Grösse von $\frac{D}{S} = 1{,}25$ recht erschöpft. Marschanstrengungen, bei welchen das Verhältniss der Diastole zur Systole bis auf 1,25, 1,0 oder gar 0,8 sinkt, dürften deshalb nicht lange ertragen werden. Das genannte Verhältniss von $\frac{D}{S}$ findet sich meist bei Pulsfrequenzen von 140 bis 150.

Aus der Tabelle für die Ruhetage leiten sich wieder Mittel ab, welche etwas niedriger stehen, wie die aus den Untersuchungen unmittelbar vor Beginn der Märsche ermittelten Zahlen (Spalte I); die Gründe dafür sind schon mehrfach weiter oben erörtert. Herr F. ist wieder der einzige, dessen Ruheverhältniss höher ist, ein Ausdruck seiner Tachycardie.

Auch auf den Bruch $\frac{D}{S}$ übt die Belastung einen unzweifelhaften Einfluss aus. Die folgende Uebersicht, in welcher die Durchschnittszahlen[1]) von $\frac{D}{S}$ für die drei nach den drei Belastungsstufen gebildeten Gruppen von Märschen aufgeführt

[1]) Die Mittelung geschah aus den Sphygmogrammen, die während und nach einem Marsch gewonnen waren (also nach 18 oder 24 km), und zwar wurde nach jedem Marsch nur ein Werth verwendet, nämlich der niedrigste.

sind, zeigt, wie stark das Verhältniss schon durch Belastung mit 22 kg sinkt (Gruppe I), wie es sich weit mehr beim Fortbewegen von 27 kg Gepäck vermindert und wie sich schliesslich, Herrn P. ausgenommen, bei 31 kg Gepäck die Zahlen jener Grenze nähern, welche wir vorhin als bedenklich bezeichneten. Herr F., bei dem die schnelle Herzthätigkeit schon vor der Arbeit die Diastole kürzt, steht in Gruppe III sogar mit 1,005 verzeichnet.

Tabelle No. 12.

	B.	P.	C.	S.	F.	Mittel
Gruppe I . .	2,06	1,79	1,8	1,72	1,28	1,73
Gruppe II . .	1,77	1,59	1,56	1,68	1,29	1,58
Gruppe III .	1,69	1,63	1,41	1,61	1,005	1,47

Kurz zusammengefasst lauten nun die Erfahrungen, welche wir beim Studium des Einflusses der Marschleistungen und des Gepäcks auf die Systole und Diastole der Sphygmogramme gewonnen haben, folgendermaassen: Schon ein Marsch von 18 km und eine gleichzeitige Last von 22 kg verlängern deutlich die Systole und verkürzen die Diastole. Diese Veränderungen werden erheblicher, wenn man den Marsch auf 24,75 km verlängert und die Belastung auf 27 kg steigert. Die genannten Aenderungen der Herzarbeit werden oft bedenklich, wenn bei einem 31 kg wiegenden Gepäck das Verhältniss der Diastole zur Systole sich der Eins nähert. In der Regel wird diese Grenze erreicht bei einer Pulsfrequenz von 140 bis 150 und darüber.

Wir wollen bei dieser Gelegenheit nicht unerwähnt lassen, dass die von uns beobachteten Werthe für die Zeitdauer der Systole und Diastole nur in einzelnen Fällen mit dem Schema der Zeitdauer für die genannten Actionen übereinstimmen, welches Chapman[1]) für jede Pulsfrequenz aufgestellt hat. Unsere Systolen sind in der Regel etwas kürzer,

[1]) Brit. med. journ. 1894. II. p. 514.

die Diastolen länger; ferner vermissen wir bei den von uns aufgenommenen Sphygmogrammen die regelmässige Congruenz und die gleichmässig vorschreitende Zu- oder Abnahme von Pulsfrequenz und Systolendauer. Für Ruheverhältnisse mag dies Hand in Hand Gehen zutreffen; bei anstrengender körperlicher Arbeit aber wird trotz zunehmender Pulsfrequenz die Systole länger, was in erster Linie darauf beruht, dass das Herz bei jeder Systole eine grössere Blutmenge zu bewältigen hat; am Ende langer und schwerer Märsche kommt als zweiter Factor hinzu, dass der ermüdete Herzmuskel an Schnelligkeit und Energie der Contraction eingebüsst hat.

Uns erübrigt noch, den sogenannten Elasticitätselevationen und der Dikrotie uns zuzuwenden.

Nach Landois entstehen diese in dem absteigenden Schenkel der Sphygmogramme neben der Rückstosselevation zu beobachtenden Erhebungen dadurch, „dass das durch die Pulswelle schnell und energisch gedehnte elastische Rohr wie eine gespannte elastische Membran erzittert, ebenso wie eine ausgespannte elastische Kautschuklamelle, wenn dieselbe plötzlich und energisch angezogen und gespannt wird, unter Oscillationen in den gedehnten Zustand übergeht. Auch bei dem plötzlichen Uebergang aus dem gespannten Zustande in den erschlafften muss das elastische Rohr oscillirende Bewegungen zeigen. . . . Die Elasticitätsschwankungen nehmen in einer und derselben Arterie an Zahl zu mit dem Grad der Spannung der elastischen Arterienmembran. Ist die Spannung der Arterienmembran beträchtlich herabgesetzt, so können die Elasticitätselevationen ganz wegfallen.“ Während also Landois meint, dass die Arterienwand allein und für sich schwinge, vertritt Hoorweg[1]) die Ansicht, dass „Röhre und Flüssigkeit wohl immer als ein einziger Körper betrachtet werden müssen, dem das Wasser die Beweglichkeit und die Wand die Elasticität verleiht; dieser Körper sei ein elastischer und habe einen bestimmten Gleichgewichtszustand wie ein Pendel, eine Saite, ein Sphygmograph; aber dann muss er auch, wie alle diese Körper, Nachschwingungen machen, welche die Weise angeben, wie er in das Gleichgewicht zurückkehrt“. Diese Nachschwingungen seien die von Landois Elasticitätselevationen genannten Biegungen des absteigenden Theils der Pulscurve, deren erste Marey bei

[1]) Pflüger's Archiv. 46. S. 157.

seiner Abbildung des „Type normale du pouls radiale“ mit dem Buchstaben c angedeutet und Moens unter dem Namen des „ersten Wellengipfels im absteigenden Schenkel“ besprochen hat; es ist auch dieselbe Elevation, welche von Wolff „die erste secundäre Welle“ genannt und von Talma wohl mit Unrecht der Schliessung der Mitralklappe zugeschrieben ist. Die Schliessung dieser Klappe muss ja nothwendig der Oeffnung der Aortenklappen, also dem Beginn des primären Anstiegs voraufgehen. Grashey, obschon nicht deutlich, bezieht sie auf die eigene Bewegung des Sphygmographen[1]); indess ausdrücklich betont erst Hoorweg, dass sie durch eigene Bewegungen des Sphygmographen hervorgebracht würde.

Sehen wir nun die von uns aufgenommenen Pulscurven auf diese Schwankungen hin durch, so kommen wir zu der Ansicht, dass diese wellenförmigen Einbiegungen des absteigenden Schenkels eine zweifache Ursache haben können: Ein Theil derselben sind wohl thatsächliche Elasticitätsschwankungen Landois' oder besser secundäre Wellen Hoorweg's, ein kleinerer Theil aber ist ebenso sicher auf Eigenbewegungen des Sphygmographen oder auf unwillkürliche Vibrationen der Muskeln und Sehnen zu beziehen. Dazu veranlassen uns folgende Betrachtungen.

Es ist durch eine Reihe beweiskräftiger physiologischer Versuche die Thatsache festgestellt worden, dass mässige Arbeit trotz Erweiterung der Muskelgefässe den Blutdruck im Arteriensystem steigert, übermässige dagegen denselben deshalb sinken lässt, weil der Herzmuskel den gesteigerten Anforderungen nicht vollkommen gerecht wird. Die Leistung der Systole ist bei Arbeit wohl immer erheblich grösser als in der Ruhe. Dem Blutdruck aber entspricht die Kraft, mit welcher sich die Semilunarklappen schliessen, und von dieser Kraft hängt nach Hoorweg die Häufigkeit und Ausgiebigkeit der „secundären Wellen“ ab, soweit sie nicht als Eigenschwingungen des Sphygmographen aufzufassen sind. Dem Blutdruck entspricht aber auch die Spannung des Arterienrohrs; je grösser diese ist, desto leichter können nach Landois Elasticitätsschwingungen entstehen. Mögen wir nun für die in Frage stehenden sphygmographischen Schwankungen die Erklärung von Hoorweg oder die von Landois an-

[1]) Hoorweg. Pflüger's Archiv. 46. S. 155.

Tabelle No. 13.

Vorkommen der Elasticitätselevationen vor, während und nach den Märschen (in 3 Graden geschätzt).

No. des Marsches	B.			P.			C.			S.			F.		
	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III	II
1	—	—	0	1	—	1 0,5	1	—	2	1	—	1	—	—	1
2	3	—	2,5	1	—	1 3 2	1	—	0,5	1	—	1	1	—	1
3	—	—	2	—	—	—	0,5	—	—	1,5	—	1	0,5	—	0,5
4	—	—	3	—	—	—	2	—	1	1	—	0,5	1	—	0,5
5	3	—	1	—	—	1	1	—	0	1	—	0,5	1	—	1
6	3	—	2	3	—	—	2	—	0	1	—	1	1	—	1
7	2 3	3	1	3 3	—	0	1	—	0	1	—	1	0,5	0,5	0,5
8	2	2,5	0	2	—	1	—	—	—	1,5	—	1	0,5	1	1
9	—	2	1	—	2	0,5	2	—	1	2	2	1	0,5	0,5	1
10	1	—	0,5	3	—	3	1	—	—	0,5	—	0,5	1	—	0,5 0,5
11	—	2,5	0	—	3	0,5	—	3	0	—	3	0,5	—	—	—
12	3	—	—	3	2	0,5	1	1	2	1	1	1	0.5	2	0,5
13	2	2	0,5 0,5	2	3	0,5	—	—	—	1	3	0,5	1	—	1 0.5
14	3	—	2	3	2	0.5	1	2,5	0	0,5	3	0,5	1	—	1
15	—	—	—	—	3 3	0,5	1	1	0	1	1	1	—	—	—
16	—	2	1,5	—	—	—	—	1	0	—	1	1	—	—	—
17	—	3	—	—	—	—	1	2	0.5	2	1	1	2,5	1	1
18	3	2	0	2	2	3	—	—	—	1	1	0,5	1	0.5	0.5
19	—	2	0	2	2	2	—	—	—	1	1	1	0	1,5	1
20	1	2,5	0,5	—	—	0,5	2	2	0	0,5	1	1	0	1	1
21	2	3	2,5	—	2,5	1	—	—	—	2	3	1	0	1	1
22	2	2,5	—	—	2	—	—	—	—	1	2	0	—	1	1
23	—	2,5	0,5	—	2	0,5	1	0	1	1,5	—	1	1	1	2
24	—	—	—	—	3	—	2	1	1	0.5	1	1	1	1	1
25	1	2	1	2	3	2,5	2	0	0	—	—	—	1	1	1
26	—	2,5	2,5	—	3	—	—	—	0	—	1	1	—	1	1
27	—	—	—	—	3	3	—	2	0	—	2	1	—	2	1
28	—	—	1	—	3	2	—	—	—	—	2	1	—	1	1
Mittel	2,3	2,4	1.1	2,3	2,4	1.3	1,3	1,4	0,5	1.1	1,7	0,8	0.8	1.1	0.9

nehmen, in beiden Fällen wachsen diese Wellen in erster Instanz mit wachsendem Blutdruck, beziehungsweise wachsender Energie der Entleerung des Herzens. Es müssen daher

Tabelle No. 14.

Vorkommen der Elasticitätselevationen an Ruhetagen.

Datum	B.	P.	C.	S.	F.
24. April	2	3	—	0,5	—
	1			1,0	
	2			1,0	
	1,5				
25. „	—	2	—	0,5	1
		2,25		1,0	0
				1,0	1
26. „	—	1	1	—	—
27. „	2	2,5	—	0,5	1
			0		
28. „	2	1	0	1,0	1
		1	0	1,0	1
			1		2
1. Mai	3	2,5	1	1,0	1
4. „	2	—	1	2	1
7. „	3	—	1	0,5	1
				1,5	
10. „	3	2	1	2,0	0,5
				0,5	
21. „	3	2	1	1	1
25. „	1	—	1	1	1
26. „	3	2	2	1	1
28. „	—	—	—	—	0,5
					0,5
1. Juni	2,5	3	1	1,5	1
				1	
4. „	2,5	2	1,5	1	1
5. „	3	—	1	1	2
7. „	2,5	2	1	1	1
8. „	—	—	—	—	1
11. „	—	—	—	3	—
12. „	—	—	—	1	1
15. „	2	2	—	1	2
18. „	2	1	0,5	1	1
25. „	2	—	1	1	0
29. „	—	—	1	2	1
30. „	2	—	—	—	—
2. Juli	2	1.5	1	1	1
4. „	2	—	—	—	—
7. „	2	—	1	2	0
Mittel	**2,2**	**1,9**	**0,9**	**1,2**	**0,9**

die Schwankungen bei mässiger Arbeit (also erhöhtem Blutdruck und grösserer Spannung) an Zahl und Ergiebigkeit

zunehmen, bei starker und bis zur Ermüdung fortgesetzter Muskelthätigkeit (also niederem Blutdruck und verminderter Spannung) dagegen abnehmen. Das ist nun bei unseren Märschen thatsächlich der Fall.

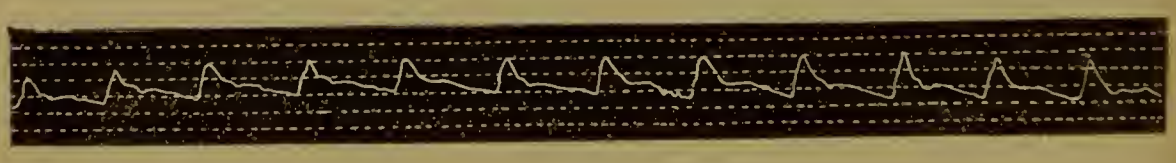
Wir haben schätzungsweise drei Grade der Elasticitätsschwankungen mit Theilung in halbe Grade angenommen und jedes der 407 Sphygmogramme je nach der Grösse der Elasticitätselevationen mit 0 bis 3 bezeichnet. Die so erhaltenen Ziffern sind für die Marschtage, sowie für die Ruhetage in den beiden vorstehenden Tabellen (No. 13 u. 14) zusammengestellt.

Aus der Zahlen-Zusammenstellung für die Marschtage geht nun ohne Weiteres hervor, dass nach mässiger Marschleistung — Sphygmogramm No. III wurde nach Zurücklegung von 18 km aufgenommen — die Elasticitätselevationen häufiger waren als unmittelbar vor dem Marsch und an Ruhetagen, dass aber nach einem Wege von 25 km die Schwankungen seltener zur Beobachtung kamen.

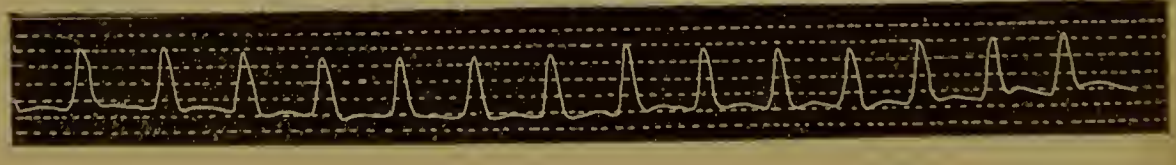
Während man nun diese Abhängigkeit der Elevationen von Blutdruck und Spannung des Gefässrohrs als einen Beweis für ihre Bedeutung als secundäre Wellen oder als Elasticitätsschwankungen auffassen muss, kann man für einzelne Fälle dieser wellenförmigen Verbiegungen des absteigenden Pulscurvenschenkels aus ihrem Verschwinden oder Erscheinen auf demselben Sphygmogramm nachweisen, dass sie unwillkürliche Muskel- oder Sehnenvibrationen darstellen. Um dies zu veranschaulichen, möchten wir eine Anzahl von Sphygmogrammen aufführen. Aus einigen erhellt der Beweis für unsere Behauptung ohne Weiteres.

In den beiden Curven P. 22 und P. 31 sieht man im 7. Puls von No. 22 und im 3. von No. 31 ganz deutlich einige Zacken, welche ohne jeden Zweifel solche Eigenbewegungen sind; beide Curven sind am Schluss von Märschen

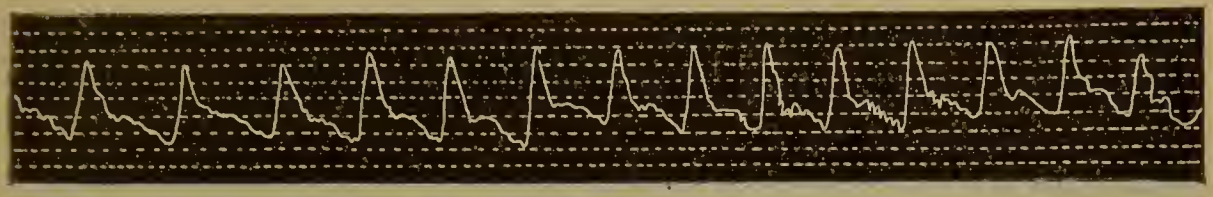
P. 22.



P. 31.



gezeichnet. In anderen Sphygmogrammen nach ganz besonders anstrengenden Märschen finden wir diese unregelmässigen Verbiegungen fast in jedem Pulsschlag (z. B. P. 74).

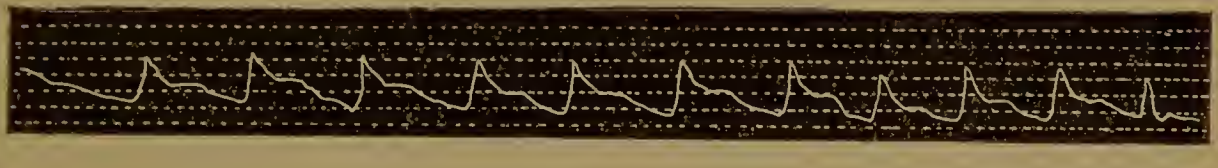


P. 74.

Niemand wird an dem Ursprung dieser Abweichungen Zweifel hegen; die Form derselben weist klar darauf hin. Doch zuweilen ist die Form auch weniger zackig, wie in P. 59. Die

P. 59.

letztgenannte Curve ist zugleich ein Beispiel für die Beobachtung, dass solche Schwankungen nicht constant bei jeder Herzrevolution vorhanden sind, sondern häufig fehlen, im Gegensatz zu der stets regelmässig wiederkehrenden Rückstosselevation; der Pfeil in P. 59 bezeichnet die Stelle, wo die „erste Elasticitätselevation“ verschwindet. Selbst in der Ruhe haben wir ein solches wechselndes Auftreten dieser Schwankungen beobachtet, doch erheblich häufiger und deutlicher während und nach den Marschanstrengungen (z. B. S. 92).



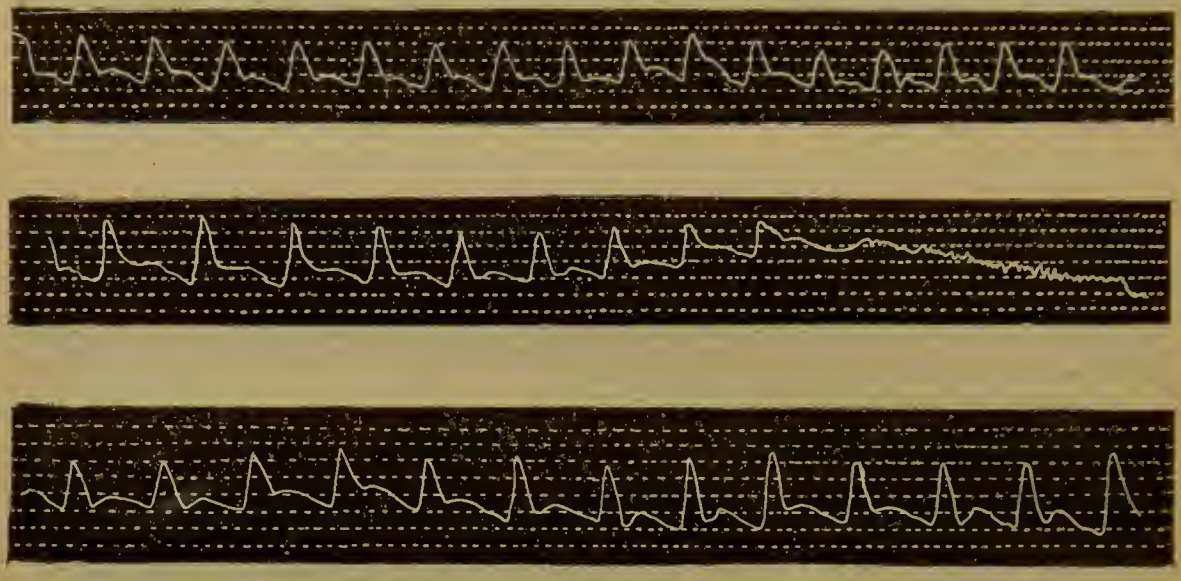
S. 92.

Dikrotie zu beobachten, hatten wir recht oft Gelegenheit; nur selten nahmen wir sie durch Tasten wahr; meist erst in der sphygmographischen Curve.

Früher hielt man (nach Landois) diesen schon dem Archigenes bekannten Doppelschlag für eine eigenartige und lediglich krankhafte Erscheinung; durch die Erforschung des Pulses mittels des Pulszeichners ist man darüber belehrt worden, dass der doppelschlägige Puls nur eine Steigerung einer normalen Erscheinung am Pulse, der sogenannten Rückstosselevation, ist, und dass die Vergrösserung dieser Er-

hebung zur Dikrotie hauptsächlich durch Verminderung der Spannung im arteriellen System bedingt wird. Für diese beiden Thatsachen sind wir in der Lage, aus unseren Sphygmogrammen den Beweis erbringen zu können.

Zunächst geht aus einer Reihe von Pulscurven, die sowohl vor wie nach den Marschanstrengungen auch an Ruhetagen aufgenommen wurden (z. B. B. 84, P. 20, S. 25), augen-



fällig hervor, wie entweder aus einer deutlichen und starken Rückstosswelle die Dikrotie sich entwickelt, oder wie die Doppelschlägigkeit allmählich der gewöhnlichen Aortenschlusserhebung Platz macht.

Ordnen wir nun aus den sämmtlichen uns zur Verfügung stehenden Pulscurven die Fälle von Dikrotie in zwei Tabellen (No. 15 u. 16), die eine für die Marschtage, die andere für die Ruhetage, in denen wir mit 0 das Fehlen jeder Doppelschlägigkeit bezeichnen, beim Vorhandensein aber in Millimetern die Höhe angeben (s. Tab. No. 15 u. 16), so fällt sofort auf, wie bei mässiger Arbeit — die Curven der Spalte III sind während, I vorher, II nachher gewonnen — die Häufigkeit der dikrotischen Welle sinkt, ja sich meist bis auf 0 verringert, dass dagegen am Schluss starker körperlicher Leistung (siehe unter II) das Vorkommen derselben sich häuft, bis auf 70 und 79 pCt.; Herr F. weicht von diesem Verhalten insofern ab, als sowohl an Ruhetagen, wie unmittelbar vor dem Antritt des Marsches sich bei ihm die Dikrotie in 70,4 pCt. und 79 pCt. der untersuchten Pulse geltend macht. Da nun nach mässiger Arbeit Blutdruck und Arterienspannung sich

Tabelle No. 15.

Häufigkeit und Höhe (in Millimetern) der dikrotischen Erhebung an den Marschtagen.

Nummer des Marsches	B.			P.			C.			S.			F.		
	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III	II
1	0	—	0	0	—	0 0,3	1,0	—	0,5	0	—	0	—	—	0
2	0	—	0	0	—	1,0 0	0	—	75	0	—	0	0	—	1,0
3	—	—	0	—	—	—	0,75	—	—	0	—	0	0,5	—	0
4	—	—	0	—	—	—	1,0	—	0,5	0	—	0,25	1,0	—	0
5	0	—	0	—	—	0,25	0	—	1,75	0,75	—	1,0	0,5	—	2,0
6	0	—	0,8	0	—	1.0	0	—	1,0	1.25	—	0,25	0,5	—	0.25
7	0 1,0	0	0	0 2	—	0,5	2,0	—	1,0	0	—	0,5	0,25	0	0
8	0	—	0 0,5	0	—	0	—	—	—	0	—	0,25	0	0	1,0
9	—	0	0	—	0	0	0	—	1,0	0	0	0,5	0,5	0	0,5
10	0	—	0	1,0	—	0	0	—	—	1.0	—	0,25	0,5	0	0
11	—	0	0	—	0	1.0	—	0	0,7	—	0	0,25	—	—	—
12	0	—	—	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,25	2,0	0	0,25
13	0	0	0 0	0	0	0,75	—	—	—	0	0	0	0	0	0
14	0	—	0	0	0	0	1	0	0,8	0	0	0	0,75	—	1,75
15	—	—	—	—	0,25 0	1,0	0	0	0.5	0,25	0	0,5	—	—	—
16	—	0	0	—	—	—	—	0	0	—	0	0,5	—	—	—
17	—	0	—	—	—	—	0	0	0,8	0	0	1,0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0,5	—	—	—	0	0	0,25	3,25	0	0
19	—	0	0	0	0	2,0	—	—	—	0	0	0,75	1,25	0	0
20	0	0	0	—	—	0	0	0	1,0	0	0	0,75	0,25	0,5	0
21	0	0	0	—	0	0	—	—	—	0	0	0	1,0	0,5	0,5
22	0	0	—	—	0	—	—	—	—	0	0	2,0	—	0	0,5
23	—	0	1,0	—	0	0,5	0	0	1,0	0	—	0	1,0	1,0	0
24	—	—	—	—	0	—	0	0	0,75	0	0	0.5	0,5	0	0
25	0	0	3,0	0	0	0,75	0	0	0	—	—	—	—	1.0	0
26	—	0	0	—	0	—	—	—	0	—	0	0	—	0	0
27	—	—	—	—	0	0	—	0	0,5	—	0	1	—	0	0,2
28	—	0	1,5	—	0	0	—	—	—	—	0	3,0	—	0	0
iufig-it in Ct.	6,2	0	20,8	15	6	54,5	29	0	79	18	0	70,4	79	22	40
ttlere rösse mm	1	—	1,3	1,5	0,25	0,75	1,15	—	0,83	0,81	—	0.75	0,9	0.7	0.8

Tabelle No. 16.
Häufigkeit und Höhe (in Millimetern) der dikrotischen Erhebung an Ruhetagen.

Datum	B.	P.	C.	S.	F.
24. April	0 0 0	0	—	0	1.0 1,5
25. „	—	0 0	—	0 0 0	—
26. „	—	—	0	0	0
27. „	0	0	—	0 0,75	0 0 1.0
28. „	0	0	1,0 1,5 1,8 0	0	0
1. Mai	0	0	0	0	1,0
4. „	0	—	0	0	0,25
7. „	0	—	1,0	3 2 3	2,25
10. „	0	0	1,0	0,5	0,25
21. „	0	0	0	0	1,25
25. „	0	3	0	0	0,5
26. „	0,5	0	0	—	0,1
28. „	—	—	—	0	2.0
1. Juni	0	0	1,0	0	0
4. „	0	0	1,0	0	0,25
5. „	0	—	0	0	0
7. „	0	0	0	—	1,25
8. „	—	—	—	—	0
11. „	—	—	—	0	—
12. „	—	—	—	0	1.0
15. „	0	0	—	0	1,5
18. „	0	0	0	0	0.25
25. „	0	—	0	0	1,0
29. „	—	—	0	0	1,0
30. „	0	—	—	—	—
2. Juli	0	0	0	1.0	0
4. „	0	—	—	—	—
6. „	0	—	1,5	0	1.0
Häufigkeit in pCt.	4,1	6,6	38	2.2	70.4
Mittlere Grösse d. beobachteten Dicrotie in mm	0,5	3	1.2	1,7	0,68

steigern, dagegen nach erschöpfender Muskelleistung sich vermindern, so geht auch aus unserer Tabelle mit Sicherheit hervor, wie die Erscheinung der Dikrotie abhängig ist von der Grösse des Blutdrucks und der Spannung des Gefässrohrs, oder, ins Praktische übersetzt, dass das Auftreten eines dikroten Pulses eine erhebliche Herabsetzung des Blutdrucks und der Arterienspannung anzeigt. Indess giebt es Soldaten, die schon in der Ruhe fast stets dikroten Puls aufweisen; so sehen wir die Curve S. 23. I (siehe Seite 48) in der Ruhe entstehen; so lieferte uns der zu den Versuchen kommandirte, mit leichter Erregbarkeit des Sympathicus behaftete Lazarethgehülfe W. fast stets stark dikrote Sphygmogramme, wie die folgende Curve W. 1. zeigt.

W. 1.

Die in den Tabellen gleichzeitig im Durchschnitt verzeichnete Höhe der dikroten Welle in Millimetern lehrt uns, dass Dikrotie, wenn sie bereits in der Ruhe vorhanden ist, im Allgemeinen eine höhere Welle erzeugt, als wenn sie eine Folge übermässiger Muskelarbeit ist. Das steht wohl unzweifelhaft mit der Thatsache im Zusammenhang, dass auch die systolische Erhebung bei der Ermüdung viel kleiner wird.

Tabelle No. 17.

	B.		P.		C.		S.		F.	
	Häufigkeit in pCt.	Höhe i. mm	Häufigkeit in pCt.	Höhe i. mm	Häufigkeit in pCt.	Höhe i. mm	Häufigkeit in pCt.	Höhe i. mm	Häufigkeit in pCt.	Höhe i. mm
Gruppe I . .	27	0,9	44	0,5	87	0,86	64	0,89	45	0,89
Gruppe II . .	0	—	50	1,06	75	0,6	62	0,25	55	0,73
Gruppe III .	40	0,8	80	0,68	71	0,5	77	0,6	14	0,5

Um einen Einfluss des höheren oder geringeren Gepäcks auf das Zustandekommen der Dikrotie nachweisen zu können, müssen wir wieder für jede der drei schon öfter erwähnten Marschgruppen die am Schluss der einzelnen Märsche er-

haltenen Sphygmogramme bezüglich der Häufigkeit des Vorkommens der Doppelschlägigkeit zusammenstellen. Die auf diese Weise sich ergebenden Mittelzahlen sind in der vorstehenden Tabelle (No. 17) enthalten.

Bei Herrn C. verursacht leichtes (22 kg), mittelschweres (27 kg) und schweres (31 kg) Gepäck fast in gleich häufiger Weise Doppelschlägigkeit des Pulses; bei Herrn F. zeigt sich auch hier keine Regelmässigkeit, während bei allen übrigen Herren die Zahlen der Gruppe III zum Theil recht erheblich höher ausfallen, als diejenigen für I und II; mit anderen Worten: Eine Belastung des marschirenden Soldaten mit 31 kg Gepäck vermindert gegenüber einer Last von 22 und 27 kg die Arterienspannung und den Blutdruck in ganz erheblichem und in dem Auftreten von Dikrotie sich kundgebendem Maasse.

Einer Erscheinung ist am Schluss dieses Capitels noch zu gedenken, welche wir bei Herrn F. zuweilen antrafen, und welche wir vielleicht als eine der sphygmographischen Eigenthümlichkeiten der Tachycardie auffassen können. Wir meinen mit dieser Erscheinung jene in den zwei erwähnten Pulscurven sich findende Kürze des aufsteigenden Schenkels, welche dadurch entsteht, dass der absteigende Theil der dikroten Welle durch die primäre Erhebung aufgenommen wird, bevor dieselbe zum Absinken gekommen ist, d. h. dass bei der schnellen Herzaction die neue Systole schon wieder beginnt, bevor die von dem zur vorhergehenden Systole gehörigen Klappenschluss stammende Gefässwelle sich verloren hat.

Wir können den Inhalt des vorstehenden Capitels wohl dahin zusammenfassen, dass die feinere Untersuchung des Pulses uns eine ganze Reihe schöner Kriterien der Wirkung grosser Anstrengungen auf das Herz geliefert hat. Wir können aus diesen Kriterien den Schluss ziehen, dass Steigerung der Belastung von 27 auf 31—32 kg die Wahrscheinlichkeit einer Schädigung des Herzens durch längere Märsche sehr erheblich vergrössert.

b) Herz und Leber.

Die Kenntniss, dass grosse körperliche Anstrengungen einen schädigenden Einfluss auf das Herz ausüben können, stammt schon aus der vorpercussorischen Zeit. Philipp führt in seiner Schrift „Die Kenntniss von den Krankheiten

des Herzens im 18. Jahrhundert“ auf S. 33 aus, dass schon Lancisi (geboren 1654, gestorben 1720) als Ursache des Aneurysma cordis — so bezeichnet Lancisi die Erweiterung des Herzens — heftige körperliche, namentlich die Athmungswerkzeuge in Anspruch nehmende Anstrengungen angesehen hat. Besonders öffentliche Redner und Spieler auf Blasinstrumenten, namentlich wenn sie dem Trunk ergeben oder von schwächlichem Körperbau sind, wurden nach seiner Ansicht oftmals von diesen Krankheiten heimgesucht; mehr als Hypochondrie, Hysterie und Syphilis begünstige Unmässigkeit zugleich im Genusse der Tafelfreuden und im Genusse der Liebe das Zustandekommen des Aneurysma cordis. Den Sitz anlangend, so will Lancisi das Aneurysma cordis häufiger in den Vorhöfen als in den Kammern, am seltensten im linken Ventrikel angetroffen haben.

Erst Morgagni indess, sich auf Senac's Werk „Ueber den Bau, die Verrichtungen und die Krankheiten des Herzens“ stützend, handelt in seiner 18. Epistel (de cordis aneurysmatibus) die Pathologie der durch Anstrengungen gesetzten Herzveränderungen ausführlich ab.

Senac selbst will das Aneurysma cordis, für das er zuerst eine ausführliche, allerdings nur auf Inspection und Palpation basirende Semiotik angiebt, am häufigsten bei denjenigen Menschen angetroffen haben, welche eine sitzende Lebensweise führen und verweichlicht sind. Nicht nur die Kammern, auch die Vorhöfe unterliegen der Erweiterung, besonders der rechte. Derselbe erreicht zuweilen den Umfang beider Kammern, enthält mehrere Pfunde Blut.

In einer späteren Zeit, im Anfang unseres Jahrhunderts, wurden dann mehr und mehr heftige Leidenschaften und Gemüthsbewegungen besonders von Corvisart angeschuldigt, die mannigfachsten Herzleiden verursacht zu haben und als dann durch Bouilland, wie v. Leyden[1]) hervorhebt, der acute Gelenkrheumatismus als häufige Ursache der Endocarditis und diese als die hauptsächlichste Veranlassung der Klappenfehler erklärt war, wandte sich die klinische Untersuchung vorherrschend der Erforschung der Klappenfehler zu, deren physikalische Diagnose und deren mechanische Analyse die Hauptaufgabe wurden. Die hauptsächlichsten Autoren dieser

---

[1]) Ueber die Herzkrankheiten in Folge von Ueberanstrengung. Zeitschr. f. klin. Med. 1886. S. 105.

Zeitepoche waren in Frankreich Andral, Bouilland, Piorry, Gendrin, Aran und Andere, in England Hope, Latham, Walshe, Bellingham, Stokes, in Deutschland vor Allem Skoda und Traube.

Die Krankheiten, welche durch eine Ueberanstrengung des Herzens hervorgebracht werden, traten erst wieder mehr hervor, als Seitz im Jahre 1875, vereinigt mit fünf Abhandlungen amerikanischer (Albutt da Costa), englischer (Myers) und deutscher (Thurn) Beobachter, eine Anzahl Fälle von Dilatation und auch Hypertrophie mit Insufficienz des Herzens ohne Erkrankung des Klappenapparats als eine besondere neue Gruppe sammelte. Eine genaue Uebersicht der Arbeiten dieser Forscher, sowie alles dessen, was zur Klärung der Frage von der Einwirkung der Ueberanstrengung auf das Herz bis 1886 beobachtet und veröffentlicht wurde, giebt v. Leyden[1]), indem er von allen Autoren Stichworte für und wider aufführt. Er selbst unterzieht in jener Arbeit „den Gegenstand auf Grund eigener Erfahrungen einer erneuten Untersuchung, um einerseits die Thatsache dieser Aetiologie fester zu begründen, andererseits das klinische Krankheitsbild nach Entstehung, Verlauf und therapeutischen Indicationen zu vervollständigen".

v. Leyden kommt auf Grund seiner ätiologischen Ausführungen zu dem Schluss, „dass die in Rede stehende Form von Herzkrankheiten gerade ihrer Aetiologie wegen von hervorragender Bedeutung und noch nicht in ihrem ganzen Umfange gewürdigt ist". Bezüglich der Symptome unterscheidet v. Leyden bei den protrahirten Fällen 2 Stadien,

1. das leichtere der functionellen Störungen am Herzen,
2. das schwerere der organischen Störungen, und zwar mit Dilatation der Herzhöhlen (besonders der linken).

Münzinger's Schrift „Das Tübinger Herz"[2]) erwähnt Bergsteigen als Ursache idiopathischer Herzhypertrophie, die Arbeit von Bollinger und Bauer in München übermässigen Biergenuss. In der Neuzeit wird auch Rudern und Radfahren angeschuldigt.

Die wichtigste Arbeit der letzten Jahre auf dem Gebiete der Krankheiten des Herzens in Folge von Ueberanstrengung ist der erste Band der Vorlesungen Fräntzel's über die

---

[1]) l. c. S. 108.
[2]) D. Arch. f. klin. Med. Bd. 19.

Krankheiten des Herzens, der 1889 erschien und der von den idiopathischen Herzvergrösserungen handelt. Schon im Jahre 1873 hatte Fräntzel denselben Gegenstand im 57. Bande von Virchow's Archiv behandelt unter dem Titel „Ueber die Entstehung von Hypertrophie und Dilatation der Herzventrikel durch Kriegsstrapazen."

Fräntzel theilt die idiopathischen Herzerkrankungen in drei Gruppen ein, in denen erstens abnorme Widerstände im Arteriensystem, zweitens primäre Erkrankung des Herzmuskels und drittens Veränderungen des Herznervensystems ohne abnorme Widerstände und ohne primäre Erkrankung des Herzmuskels die Ursachen sind. Zu der ersten Gruppe rechnet Fräntzel die Herzvergrösserungen in Folge von Ueberanstrengung und illustrirt dieselbe durch den Fall des berühmt gewordenen Steinträgers, bei dem eine einmalige, momentan wirkende Ueberanstrengung des Herzens zu einer schweren Erkrankung dieses Organs (acuten Dilatation) geführt hatte. Fräntzel nennt die Fälle dieser Art, „acute Ueberanstrengung des Herzens" im Gegensatz zu Seitz, der ganz allgemein den Namen „Ueberanstrengung" auch für solche Fälle gebraucht, bei welchen eine mehrere Tage, ja selbst einige Wochen andauernde Ueberanstrengung zu einer Dehnung des Herzmuskels mit ihren Folgen führt; für diese Seitz'schen Fälle möchte Fräntzel den Ausdruck „chronische Ueberanstrengung" angewendet haben.

Er führt auch eine Anzahl diesen chronischen Seitz'schen Erkrankungen analoge Fälle auf, die er in seiner militärärztlichen Thätigkeit beobachtet hat und die deshalb für uns von besonderem Werth sind.

So hatte Fräntzel nach dem Feldzuge 1870/71 bei einer Anzahl von Soldaten idiopathische Hypertrophieen und Erweiterungen bald des linken, bald des rechten Ventrikels beobachtet, bald beider zusammen. In allen Fällen konnten nach seiner Ansicht nur die besonderen Schädlichkeiten des Feldzuges das Herzleiden zur Entwickelung gebracht haben. Diese Schädlichkeiten selbst schildert Fräntzel in seiner anschaulichen Weise folgendermaassen: „Bedenkt man die grossen Märsche, welche oft viele Tage hindurch ohne Ruhe und im Geschwindschritt, oft Tag für Tag kämpfend, gemacht wurden, so wird daraus erhellen, dass bei diesen Leuten eine tägliche intensive Anstrengung der Athmung stattfand, die um so grösser sein musste, als die Ausdehnung

des Thorax erschwert war durch den auf dem Rücken lastenden Tornister und durch das auf den Schultern ruhende Gewehr, während die Excursionen des Zwerchfells beeinträchtigt waren durch das den Oberbauch umschliessende Säbelkoppel, an welchem zwei gefüllte Patronentaschen hingen. Hand in Hand mit dieser dauernden grossen Respirationsanstrengung musste eine dauernde Drucksteigerung im Pulmonalarteriensystem gehen, die zweifellos geeignet war, zur Dilatation des rechten Ventrikels und auch zur Hypertrophie desselben zu führen, falls seine Musculatur im Stande war, dauernd den abnorm hohen Widerstand in der Pulmonalarterie zu überwinden, also dauernd abnorm stark zu arbeiten".

Ferner betont Fräntzel auf Grund seiner Erfahrungen, dass zuweilen auch der Militärdienst im Frieden im Stande sei, bei Menschen, „die an einer angeborenen Enge des Aortensystems leiden", zu Dilatation des linken Ventrikels und ihren Folgezuständen zu führen.

Indess ist zu bezweifeln, dass die so häufig als Circulationshinderniss angeführte angeborene Enge des Aortensystems (abgesehen von directen Missbildungen) die Bedeutung hat, welche ihr gewöhnlich zugeschrieben wird.

Es ist ja durch die mechanische Analyse der Reibungswiderstände in den einzelnen Abschnitten des Gefässsystems[1]) erwiesen, dass die Widerstände in den grossen Arterien immer sehr unbedeutend sind, dass der Hauptwiderstand, von dem die Arbeitsgrösse des Herzens abhängt, in den kleinen Arterien von 1—0,01 mm zu suchen ist, deren Weite durch ihre Ringmuskeln regulirt wird. Es ist demnach die Disposition zu Ueberarbeitung und Dilatation des Herzens viel eher in einer abnormen Erregbarkeit bezw. in einem zu starken Tonus der Vasomotoren als in angeborener Enge des Aortensystems zu suchen.

Jene Arbeit Fräntzel's vom Jahre 1889 stellt im Wesentlichen noch den modernen Standpunkt in Bezug auf die Krankheiten des Herzens in Folge von Ueberanstrengung fest. Nur darf man einen Vortrag des Nauheimer Arztes Th. Schott nicht übersehen, welchen er auf dem neunten Congress für innere Medicin im April 1890 hielt. Nach ihm setzt sich die chronische Ueberanstrengung des Herzens aus einer Summe einzelner acuter Ueberanstrengungen zusammen.

---

[1]) Vergl. Benno Lewy. Pflüger's Archiv. 65. S. 447.

Er hat zur Lösung der Frage, ob es in der That eine solche acute Ueberanstrengung des weder in seiner Structur, noch in seiner Functionsfähigkeit bereits veränderten Herzens giebt, eine Anzahl experimenteller Untersuchungen angestellt. Bei allen Experimenten wurden verschiedenartige Muskelthätigkeiten bis zur Ueberanstrengung gesteigert, so dass eine mehr oder minder lange andauernde Dyspnoe hervorgerufen wurde. Um den Einfluss solcher bis zur Athemnoth führenden Muskelactionen auf das Herz zu studiren, wählte er das Ringen von zwei gesunden kräftigen Männern. Vor dem Ringen wurden die Herzgrenzen und die Stelle des Spitzenstosses genau bezeichnet, sphygmographische Curven und Pulsdruck aufgenommen, der Zwerchfellstand und die hinteren Lungengrenzen festgestellt, die Athem- und Pulsfrequenz, die Qualität der Pulswellen und der Herztöne einer genauen Untersuchung unterzogen. Alsdann wurde mit einfachen, aber starken gymnastischen Armbewegungen begonnen und dann zu stärkerem Ringen übergegangen. So lange noch keine Athemnoth entstand, war nur eine grössere Athem- und Pulsfrequenz zu constatiren; alles Andere blieb wie vorher. Aber das Bild änderte sich schon nach wenigen Minuten, als wirkliche Dyspnoe auftrat. Die Herzgrenzen rückten um einen oder mehrere Centimeter nach Aussen. Der Spitzenstoss bewegte sich sicht- oder fühlbar nach der Axilla hin, die Athemfrequenz war oft um mehr als das Doppelte gesteigert, der Pulsdruck, welcher im Beginn anstieg, ging später, als die dyspnoischen Zustände immer stärker und stärker wurden, um 10, 20 und mehr Millimeter herab.

Aus den der Schott'schen Arbeit beigefügten Zeichnungen geht klar hervor, wie ein bis zur Dyspnoe gesteigertes Ringen im Stande ist, das Herz sowohl nach rechts wie nach links um 1 bis 2 und mehr Centimeter zu dilatiren. Es ist nach Schott selbstverständlich, dass nur das in den Herzhöhlen angestaute Blut diese Dilatation hervorruft, es entsteht eine sogenannte Stauungsdilatation. Da nun ferner das Zusammenpressen der Baucheingeweide mit Hinaufdrängen des Zwerchfells auf die Blutfüllung der Herzhöhlen, den intracardialen Druck und die Herzthätigkeit im Ganzen von grossem Einfluss ist, so hat Schott noch eine zweite Versuchsreihe derart angestellt, dass die ringenden Personen sich einen um den Leib unterhalb des Rippenbogens gelegten Riemen so fest anzogen, dass sie das Gefühl starker Pressung

hatten. Schon diese einfache Einschnürung des Leibes genügte, um Kurzathmigkeit und Tachycardie hervorzurufen und den Spitzenstoss und die Herzgrenzen nach Aussen zu rücken. Als dann starke, bis zur Dyspnoe führende Ringbewegungen ausgeführt wurden, da rückte die Herzspitze ganz bedeutend nach Aussen (einmal sogar um $5^1/_2$ cm über die Mammillarlinie), die Ventrikel und ganz besonders die Vorhöfe dehnten sich ganz gewaltig aus, und das Alles innerhalb einiger Minuten. Aus diesen Experimenten zieht Schott den gewiss berechtigten Schluss, „dass es in der That eine acute Ueberanstrengung des Herzens auch bei Gesunden giebt, welche bei denselben freilich rasch wieder verschwindet". Diesen experimentellen Erfahrungen Schott's reiht sich noch aus Frankreich eine Beobachtung le Gendre's an, der in Folge von einem forcirten Laufschritt öfters bei Knaben zwischen 11 und 16 Jahren acute und sehr intensive Kreislaufsstörungen (Tachycardie, acute Dilatation des rechten Ventrikels) auftreten sah, sowie aus Basel von Jaquet und Christ[1]), welche nach Arbeit auf einem Tretwerk bei drei Typhusreconvalescenten gleichfalls Dilatation des rechten Ventrikels beobachteten.

Die Resultate der eben berichteten experimentellen Forschungen neben den Erfahrungen Fräntzel's gaben uns die Anregung, auch bei unseren Marschirübungen dem Verhalten des Herzens eine erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen.

Vor jedem einzelnen Marsch wurden bei jedem an dem Marsche theilnehmenden Herrn die Grenzen der Herz- und Leberdämpfung percutorisch bestimmt und mit dem Fettstift auf die Haut aufgezeichnet. Nach Rückkehr von dem Marsch wurde die Percussion wiederholt. Dieselbe wurde stets leise palpatorisch und immer genau in derselben Art und Stärke ausgeführt. Wir hatten zunächst in Anbetracht der durch die Muskelanstrengungen zu erwartenden erhöhten Widerstände im Aortensystem eine Erweiterung des linken Ventrikels erwartet, aber gleich nach den ersten Märschen fiel es uns auf, wie bei Weitem mehr die rechte Herzhälfte dilatirt wurde. Da diese Erweiterung nur auf Stauung beruhen konnte, so dehnten wir unsere Untersuchung auch auf die leicht zu percutirende Leber aus, in der Erwartung, dass, wenn unsere Ansicht von der Stauungsdilatation des rechten Herzens richtig

[1]) Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. 1894.

sei, die Stauung des Blutes sich auch in einer Verbreiterung des Dämpfungsbezirks der Leber aussprechen müsse. Diese Erwartung bestätigte sich vollkommen: Wir fanden noch häufiger als eine Vergrösserung der Herzdämpfung nach rechts eine solche der Leber; stets war erstere mit der letzteren vergesellschaftet, zuweilen kam eine Ausdehnung der Lebergrenzen isolirt vor, dagegen nie eine Herzdilatation ohne Verbreiterung des Dämpfungsbezirks der Leber. Daraus lässt sich schliessen, dass geringere Grade der Stauung sich zunächst nur in der Leber bemerkbar machen, erst höhere Grade dilatiren das rechte Herz.

Indess lässt sich gegen diese ganze Auffassung, dass eine Verbreiterung der Dämpfungsgrenzen des Herzens und der Leber eine Vergrösserung dieser Organe bedeute, der gewiss nicht unberechtigte Einwand erheben, dass auch ein Zurückweichen der Lungenränder die Dämpfungsgrenzen erweitert, ohne dass eine Veränderung in den Grössenverhältnissen des Organs eingetreten zu sein braucht. Diesen Einwurf haben wir wohl berücksichtigt und — gleichwie der Chemiker, wenn er volumetrische Bestimmungen mit einem Gase anstellt, stets denselben barometrischen Druck anwendet — so haben wir die Percussion der Herz- und Lebergrenzen entweder bei maximaler Inspiration oder maximaler Exspiration vorgenommen; die hinteren Lungengrenzen wurden dann auf der Haut markirt und der Umfang von Herz und Leber erst dann bestimmt, wenn die Lungenränder durch forcirte Ein- oder Ausathmung an die auf der Haut des Rückens mit dem Fettstift aufgezeichneten Grenzen wieder eingerückt waren. Wenn nun noch eine Vergrösserung der Herz- und Leberdämpfung zu constatiren war, so musste diese unseres Erachtens thatsächlich auf eine Vergrösserung der Organe selbst bezogen werden.

Die Percussion der Herz- und Leberdämpfung, immer erst nach Herstellung der zuerst aufgenommenen Lungengrenzen durch In- oder Exspiration, beseitigt auch ohne Weiteres den Einwand, dass möglicher Weise der vergrösserte Dämpfungsbezirk der beiden Organe durch eine andere Lagerung in Folge des Emporsteigens des Zwerchfells vorgetäuscht sein könnte. Die Lungen, also auch das Zwerchfell, erreichen dieselben Grenzen wie vor dem Marsch ganz gewiss wieder.

Wir wissen übrigens durch die Versuche von Zuntz und Tangl, dass beim Menschen die Muskelarbeit den Blutdruck

etwas erhöht; indess wird die Anpassung an die vermehrten, das Herz durchströmenden Blutmengen von Seiten des grossen Kreislaufs durch Dilatation der peripheren Gefässe erleichtert, während diese Anpassung im Lungenkreislauf wesentlich durch erhöhten Druck in der Lungenschlagader bewirkt werden muss (Lichtheim). Im Gegensatz hierzu thun die Arbeiten von Albu[1]) bei Radfahrern und von Henschen[2]) bei schwedischen Skidläufern dar, dass hier, wo die Belastung wegfällt, mehr eine Dilatation des linken Ventrikels zu Stande kommt.

Wir haben im Ganzen 89 Mal vor und nach den Märschen die Leber- und Herzdämpfung percutirt, bei dreien der Herren vom 4. Marsch ab, bei Herrn B. und P., welche der Respirationsversuche wegen nicht gleich zur Verfügung standen, erst vom 11. Marsch ab. Von diesen 89 Leberuntersuchungen konnten 67 eine Vergrösserung der Dämpfung feststellen = 75,2 pCt., von den 89 Herzpercussionen entdeckten 64 = 72 pCt. eine Verbreiterung. Es ist nun die Thatsache hierbei sehr auffallend, dass die positiven Resultate besonders auf die Tage der Märsche mit schwerer Belastung fallen. Es geht dies sehr deutlich aus der Betrachtung der Tafel I hervor, in welcher wie sonst auch die Märsche mit leichter Belastung ohne Schraffirung gelassen sind, während die mittlere Belastung durch einfache, die schwere durch doppelte Schraffirung gekennzeichnet ist. Die Höhe der Säulen entspricht dem Grade der Volumzunahme der Organe. Ein beziehungsweise zwei × unter der Marschnummer bedeutet, dass dem Marsche schon 1 oder 2 Marschtage ohne Pause vorangegangen sind. Folgende Zahlen mögen die Bedeutung der Belastung illustriren. Von 72 Untersuchungen an 9 schweren Marschtagen (mindestens 31 kg Belastung) fielen 63 = 87,5 pCt. positiv aus; von 54 Percussionen an 8 mittelschweren Marschtagen (mindestens 27 kg Belastung) waren nur 38 positiv = 70,4 pCt.; von 52 Beobachtungen an 8 leichten Marschtagen (nicht über 22 kg Gepäck) ergaben sogar nur 29 = 56 pCt. eine Verbreiterung des Dämpfungsbereichs. Mit der Steigerung der Last von 22 kg auf 27 kg und 31 kg nimmt demnach die Häufigkeit der Vergrösserungen der Leber und der Marschdilatationen des Herzens zu im Verhältniss von 56 pCt. zu 70,4 pCt. und zu 87,5 pCt.

---

[1]) Albu. Verhandl. d. Berl. med. Gesellsch. 1897. II. S. 73.

[2]) Henschen. Skidlauf und Skidwettlauf. Eine medicin. Sportsstudie. Jena 1899.

Es sind auch die schweren Marschtage, an welchen in der Curve die stärkeren Grade der Lebervergrösserung und Dilatation sich einzustellen pflegten. Während der durchschnittliche Zuwachs der Dämpfung durch die Marschanstrengung 1 cm betrug und sich nur bei Herrn S. auf 2 cm erhob, fanden wir bei der Leberdämpfung für den Zuwachs bei B. 17, 18 — also schweren Märschen — 2,5 und 3,5 cm, bei P. 19 4 cm, bei F. 20 sogar 4,5 cm verzeichnet; ebenso bei der Herzdämpfung Zuwachszahlen von 2 cm bei Herrn B. und P. zu Zeiten der hohen Belastung mit 31 kg, auch bei dem sonst wenig in dieser Hinsicht reagirenden Herrn C. bei dem sehr anstrengenden 24. und 25. Marsch; bei Herrn S. erhoben sich schon bei der ersten und zweiten Belastungsstufe (Marsch 4 und 10) die Zuwachswerthe auf 3 cm und stiegen beim höchsten Belastungsgrad (z. B. Marsch 18 und 24) auf die unerhörten Ziffern von 3,5 und 5 cm! In allen Fällen wiesen die drei letzten nur mit 22 kg unternommenen Märsche nur geringe Herz- und Leberveränderungen auf. Eine Verbreiterung der Herzdämpfung um mehr als $1^1/_2$ bis 2 cm beim marschirenden Soldaten ist jedenfalls als bedenklich anzusehen.

Die Herzdilatationen betrafen in 63 Fällen 62 Mal den rechten Ventrikel, in 31 = 50 pCt. zugleich auch den linken; von diesen 31 rechts- und linksseitigen Erweiterungen entfielen allein 15 auf Herrn S., von den 63 positiven Ermittelungen auf diesen Herrn allein 24. Von den 24 bei ihm angestellten Leberpercussionen ergaben 23 eine Vergrösserung dieses Organs. Im Vergleich zu ihm verhielten sich die übrigen vier Herren wie folgt: Bei Herrn B. waren von 13 Leberuntersuchungen 10 positiv, von 13 Herzuntersuchungen 7 positiv, bei Herrn P. waren von 14 Leberuntersuchungen 10 positiv, von 14 Herzuntersuchungen 8 positiv, bei Herrn C. waren von 17 Leberuntersuchungen 11 positiv, von 17 Herzuntersuchungen 10 positiv, bei Herrn F. waren von 21 Leberuntersuchungen 13 positiv, von 21 Herzuntersuchungen 14 positiv.

Wenn wir nun in unserer Tafel I die Verbreiterung der Herz- und Leberdämpfung mit den anderen graphischen Darstellungen vergleichend zusammenhalten, so bietet, abgesehen von dem Vergleich mit der Temperatur, der mit der Respirationstabelle manches Bemerkenswerthe und sogar Aufklärende.

Da die Lebervergrösserung leichter eintritt als die Herzdilatation, wie wir oben begründet haben, so zieht man zweckmässig sie zunächst als Vergleichsobject heran. Besonders schreiten die Körpertemperatur- und Stauungscurven bei Herrn P. und Herrn C. namentlich in der Mitte fast gleichmässig auf und ab, die Höhepunkte fallen meist zusammen. Aehnliche Verhältnisse finden wir auch bei Herrn S., namentlich im gleichzeitigen Abfall der drei letzten Märsche, weniger deutlich, aber doch ausgesprochen, bei Herrn F. im Profil der Märsche 17 bis 21. Es hat deshalb der Schluss einige Berechtigung, dass Temperatursteigerungen auf Märschen oft mit Stauungserscheinungen im venösen System, gelegentlich auch mit Marschdilatationen des rechten Ventrikels Hand in Hand gehen. Ueber ein ursächliches Verhältniss des Einen zum Andern liessen sich nur Vermuthungen geben.

Man sollte meinen, dass auch die Pulsfrequenzcurve die gleichen Schwankungen wie die Stauungscurve mitmachen müsse. Wenn nun zwar auch einige gemeinschaftliche hohe Punkte zu beobachten sind, so geht doch im Allgemeinen jede dieser beiden Curven ihren eigenen Weg; die Höhe der Pulsfrequenz lässt deshalb nicht auf Stauungsvorgänge schliessen.

Dagegen treffen wir eine auffallende Coincidenz zwischen der Höhe der Respiration[1]) und der Herz- und Lebervergrösserung. Fast bei allen Herren fallen bei beiden Functionen hohe und niedere Ausschläge zusammen, besonders beweisend liegen die Verhältnisse bei Herrn C. und S. Daraus erhellt nun klar, dass bei anstrengenden Märschen, welche an die Athmung grosse Anforderungen stellen, die Athemzüge beschleunigen und, wenn erst die Ermüdung und der Einfluss des Gepäcks zur Geltung kommen, jeden einzelnen derselben verflachen, die mangelhafte Förderung des Blutes aus den grossen Venen sich in einer Vergrösserung der Leber und am Herzen in einer Dilatation ausdrückt.

Dass hier die ungenügende Leistung des Athemapparates das Primäre, die Stauung die Folge ist, spricht sich auch in den weiter oben schon angeführten Schott'schen Experimenten aus. Schott gelang es, bei seinen Ringern gerade dann besonders schnell und leicht eine Dilatation der Ventrikel zu Stande zu bringen, wenn er durch festes Anlegen

[1]) Die auf die Respirationsfrequenz bezügliche Curve ist leider aus Raummangel nicht auf die Tafel I aufgenommen worden.

eines breiten Gurtes um den Bauch die Bauchathmung beschränkte und bald Dyspnoe hervorrief. Ganz so liegen ja die Verhältnisse bei unseren Versuchs-Soldaten. Nicht nur die Abdominalrespiration ist bei ihnen durch das festliegende Koppel mit zwei daran hängenden, gefüllten und 2,6 kg wiegenden Patronentaschen in ganz ähnlicher Weise behindert, wie bei den Schott'schen Ringern, sondern bei ihnen sorgen noch die Riemen des 15,3 kg schweren Tornisters, die eine Hebung der Schultern und der oberen Rippen wesentlich erschweren, ferner der Gurt des Brotbeutels und schliesslich die Last des Gewehrs dafür, dass die Brustathmung sich schlecht entfalten kann. Und alle diese sowohl die Brust- wie die Bauchathmung beeinträchtigenden Momente wirken direct proportional der Belastung, mit jedem Kilogramm Last nimmt ihr einengender und den Athembewegungen entgegen wirkender Einfluss zu; es entsteht Dyspnoe; nach unseren Beobachtungen kommt es bis zu 35 Athemzügen in der Minute, bei Landwehrleuten noch bis zu viel höheren Ziffern; die Folge ist die Herzerweiterung.

Es kann nach dem Vorstehenden demnach kein Zweifel mehr darüber bestehen, dass durch hohe Belastung (über 27 kg) zumal bei ungünstigem Marschwetter leicht und zwar besonders in Folge unvollkommener Respiration eine Marschdilatation des Herzens, zumal des rechten, auftreten kann.

Bezüglich des Bestehenbleibens dieser Marschdilatationen konnten wir schon in unserem vorläufigen Bericht bemerken, dass dieselben nicht von langer Dauer beim Gesunden sind. Ohne Ausnahme waren sie am andern Morgen nach dem Marschtage, oder schon am Abend des Marschtages, ja schon 2 bis 3 Stunden nach dem Einrücken wieder ausgeglichen.

Schliesslich möchten wir daran erinnern, dass die gleichzeitige Schwellung der Leber und des rechten Herzens mit experimentellen Erfahrungen übereinstimmt, welche darthun, dass die Lebervenen gewissermaassen ein Sicherheitsventil für das rechte Herz darstellen, dass bei zu starkem Blutzufluss zu letzterem die Lebervenen den Ueberschuss aufnehmen, und dass so eine Schwellung des letzteren Organs zu Stande kommt[1]).

---

[1]) Siehe Stolhikow, Pflüger's Arch. 28. S. 267 u. Johansson u. Tigerstedt: Gegenseitige Beziehungen des Herzens und der Gefässe. Skand. Arch. I. S. 395 ff.

c) Blut.

Dem Verhalten des Blutes[1]) wurde nach vier Richtungen hin Aufmerksamkeit geschenkt. Es sollte untersucht werden, ob durch die Marschanstrengungen eine Veränderung eintrat, erstens im specifischen Gewicht des Blutes, zweitens in der Zahl der rothen, drittens der weissen Blutkörperchen und viertens im Verhältniss der Lymphocyten zu den polynucleären Leukocyten. Auf die Bestimmung des Hämoglobingehaltes haben wir aus einem doppelten Grunde verzichten können, einmal, weil der Fleischl'sche Apparat in der älteren Ausführung, wie er zur Zeit der Versuche uns allein zu Gebote stand, eine Fehlergrösse von 15 pCt. zulässt, welche ihn zwar für den Kliniker nicht unbrauchar macht, indess für unsere Zwecke zu hoch war, dann, weil nach den physiologischen Versuchen von Pflüger[2]), sowie nach Angaben neuerer Autoren[3]) Hämoglobingehalt und Blutdichte parallel gehen. Die spektrophotometrische Methode von Vierordt und Hüfner würde für unsere Zwecke deshalb nicht anwendbar gewesen sein, weil sie zu viel Zeit zu ihrer Ausführung erfordert.

Die Untersuchungsmethoden.

Das Blut wurde in jedem Falle aus dem Ohrläppchen entnommen, schon weil dasselbe sehr bequem dazu ist und bei einem kleinen Schnitt mit der Lanzette ausreichend Blut liefert. Dazu, dass wir stets dieselbe Körpergegend wählten, veranlasste uns auch die Beobachtung Kostjurin's[4]), dass der Blutkörperchengehalt des Capillarsystems in den einzelnen Regionen ein verschiedener sei, dass der Unterschied beispielsweise in der Supraclaviculargegend und der kleinen Zehe bis 20 pCt. betrage, obwohl Reinert[5]) auf Grund ausgedehnter, eigener Beobachtungen beträchtliche Differenzen für ausge-

---

[1]) Die Ergebnisse der Blutuntersuchungen sind bereits in der Dissertation des Herrn Dr. Tornow (Berlin 1895) ausführlicher niedergelegt. Dieser hat in Gemeinschaft mit cand. med. Fischer die meisten der hierher gehörigen Messungen und Zählungen ausgeführt.

[2]) Sein Archiv. Bd. 1. S. 73 ff.

[3]) Siegl. Wiener klin. Wochenschr. 1891. — Hammerschlag. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 20.

[4]) Petersburger med. Wochenschr. 1880.

[5]) Die Zählung der Blutkörperchen. 1891.

schlossen hält. Ein Druck auf das Ohrläppchen bei der Blutentnahme wurde vermieden, um durch gleichzeitiges Auspressen von Gewebsflüssigkeit Blutdichte und Blutkörperchenzahl nicht fehlerhaft zu verändern.

Die Blutdichte suchten wir zuerst mit der Capillarpyknometermethode nach Schmaltz[1]) zu bestimmen. Die Capillarpyknometer sind feine Glasröhrchen von etwa 10 cm Länge und 1 mm Weite mit einer Verengerung an den Enden, um ein Herauslaufen und Verdunsten des eingesogenen Blutes zu verhindern. Die Pyknometer werden erst leer, dann mit destillirtem Wasser und schliesslich mit dem zu untersuchenden Blut gefüllt, gewogen; eine einfache Division ergiebt dann das specifische Gewicht. Die Methode hat sich bei vielen Untersuchern eingebürgert, sie soll bis auf $^1/_{10}$ der dritten Decimale genaue Resultate liefern. Trotzdem mussten wir sie verlassen, da sie uns bei unserer grossen und schnell abzufertigenden Zahl von Untersuchungen im Stich liess. Schon die Füllung der Röhrchen machte Schwierigkeiten; man braucht doch recht viel Blut und schont man rücksichtsvoll ein Ohrläppchen, so kann es passiren, dass das Blut vorzeitig gerinnt und nun die weitere Füllung garnicht von Statten geht. Um die Gerinnung hintanzuhalten, wurden die Röhrchen mit Ammoniumoxalat ausgespült; der geringe, an den Wänden haften gebliebene Rest gestattete dann eine glatte Füllung mit Blut. Leider beeinflusste die an den Wänden verbliebene capilläre Schicht der Salzlösung das specifische Gewicht in sehr erheblichem Maasse. Wiederholt an demselben Blute mit und ohne diesen Zusatz von Ammoniumoxalat vorgenommene Wägungen ergaben, wie man auch annehmen konnte, beträchtliche Differenzen, bis 8 Einheiten. Die Hauptschwierigkeit der Methode liegt aber in der ausserordentlich lästigen und zeitraubenden, sehr oft überhaupt nicht möglichen Reinigung der mit Blut gefüllten Capillarröhrchen. Weder stundenlanges Liegenlassen in Kalilauge — die doch unzweifelhaft auch das Glas anätzen und so fortwährend zu neuem Tariren Veranlassung geben muss — noch Kochen in Schwefelsäure, weder mechanische Reinigung noch Verkohlen des Inhaltes hatten genügenden Erfolg.

So nahmen wir unsere Zuflucht zu der aräometrischen Gewichtsbestimmung, welche zuerst von Fano und Roy

[1]) Deutsches Arch. f. klin. Med. Bd. 47.

eingeführt, von Lloyd-Jones[1]) gleichfalls benutzt, aber erst durch Hammerschlag's[2]) Modificationen recht brauchbar wurde: Man ermittelt mit der Mohr'schen Waage das specifische Gewicht einer Benzin-Chloroformmischung, welche durch Zufügen von Benzin oder Chloroform so eingestellt worden war, dass ein Tropfen des zu untersuchenden Blutes weder Neigung zum Emporsteigen noch zum Sinken zeigte. Diese Methode erwies sich als sehr bequem und lieferte bei verhältnissmässig geringen Cautelen bis zur dritten Decimale genaue Resultate. Man könnte meinen, dass die Verdunstung diese Resultate beeinflusse. Indess haben Benzin und Chloroform annähernd denselben Siedepunkt (um 62°), so dass von dem Einen so viel verdunstet, wie von dem Andern, also das specifische Gewicht der Mischung dasselbe bleibt. Eine grössere Zahl von Controlversuchen bestätigte diese Ansicht. Auf eine andere viel bedenklichere Fehlerquelle der Hammerschlag'schen Methode wurden wir erst später bei den von uns im Hochgebirge ausgeführten Untersuchungen aufmerksam. Sie ist dann von Leo Zuntz systematisch untersucht worden[3]). Er fand, dass aus der Chloroform-Benzolmischung die letztere Substanz viel reichlicher und schneller in den Blutstropfen hinein diffundirt als das Chloroform. Dadurch wird der Tropfen progressiv leichter. Etwa nach 1 Minute wird die Aenderung des specifischen Gewichts merklich, so dass man auf absolut richtige Werthe nur rechnen kann, wenn die Bestimmung in dieser kurzen Zeit zu Ende geführt wird. Dies ist möglich, wenn die Chloroform-Benzolmischung vorher annähernd richtig eingestellt war, so dass nur wenige Tropfen der einen oder der anderen Lösung zuzufügen sind, um den Tropfen zur Schwebe zu bringen. Die nöthige Geschwindigkeit des Arbeitens wurde in unseren Fällen schon darum fast stets inne gehalten, weil die 5 Proben rasch hintereinander untersucht werden mussten. Wir hatten daher auch nach Ausführung der Controlversuche von Leo Zuntz keinen Grund, an der Richtigkeit unserer Resultate zu zweifeln.

Bei Anwendung der Methode liessen wir vielfach den Blutstropfen vom Ohrläppchen direct in die Mischung tropfen:

---

[1]) Journal of Physiol. VIII.
[2]) Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 20.
[3]) Pflüger's Archiv. 66. S. 539.

war derselbe zum Abtropfen zu klein, so wurde er mit der Lanzette abgenommen und in das Becherglas geschüttet. Anhängende Luftbläschen oder Häärchen, welche übrigens selten beobachtet wurden, liessen sich in jedem Falle leicht entfernen.

Zur Zählung der Blutkörperchen wurden die Thoma-Zeiss'schen Apparate verwendet, als Verdünnungsflüssigkeit physiologische Kochsalzlösung, welcher, um die Leukocyten besser hervortreten zu lassen, etwas Gentianaviolett zugesetzt war. Die Verdünnung betrug in der Regel 1 : 200, oft wurde das Blut aber auch bis zur Marke 0,6, 0,7 oder 1,0 aufgesogen. Es wurden 80—100 Quadrate ausgezählt. Obschon Lyon und Thoma[1]), Reinecke[2]) und Reinert die Zählung einer viel höheren Zahl von Quadraten (bis 500) fordern, so genügte doch für uns, in Rücksicht auf die durch Monate fortlaufende Untersuchungsreihe sowie auf die grossen, durch die Märsche verursachten Differenzen (im Mittel eine halbe Million) jene Zahl von Quadraten.

Die Reinigung der Pipetten geschah mit Wasser, Alkohol und Aether, die mittelst eines einfachen oder Wasserstrahlgebläses wieder entfernt wurden, von Zeit zu Zeit auch mit Salzsäure.

Für die Zählung der Leukocyten, welche durch Färbung mit Gentianaviolett gegen die rothen Elemente sich abhoben, bedienten wir uns zuerst derselben Mischpipette und hofften, auf diese Weise die Zahl der rothen und weissen Blutkörperchen in demselben Präparat bestimmen zu können. Leider wurden aber die Resultate wegen der allzu geringen Zahl der Leukocyten ungenau und wir zogen es vor, wenn auch dazu mehr Blut erforderlich war, die weiten Thoma'schen Pipetten zu nehmen und mit einer Verdünnung von 1 : 20 zu arbeiten.

Zur Bestimmung des Verhältnisses zwischen Lymphocyten und polynucleären Leukocyten wählten wir anstatt des Lappert'schen Verfahrens[3]) die Ehrlich'sche Methode an Trockenpräparaten. Zur Zählung wurde der verschiebbare Objecttisch von Zeiss dem Mikroskop eingefügt.

---

[1]) Virchow's Archiv. Bd. 94.
[2]) Virchow's Archiv. Bd. 118.
[3]) Centralbl. f. klin. Med. 1892.

Die Resultate in der Ruhe.

Wir beginnen mit dem specifischen Gewicht. Die Untersuchungen wurden in der Regel früh um 6 Uhr oder (an den Tagen, wo nicht marschirt wurde) um $9\frac{1}{2}$ Uhr angestellt, also zu einer Tageszeit, wo der Einfluss der Nahrung oder der Thätigkeit noch nicht so sehr in Betracht kam. Werthe, welche abweichend davon erst um Mittag erhalten wurden, tragen in den Tabellen ein M. Die Nahrungsaufnahme in der Frühe bestand meist nur aus einer Tasse Cacao oder Kaffee mit einem Brödchen oder noch einem Ei.

Im Allgemeinen stellten die zahlreichen Ruheuntersuchungen für jeden einzelnen der Herren eine bestimmte Zahl fest. Abweichungen von dieser Zahl kamen zuweilen vor, namentlich im Anfang (bis zum 5. Marsch oder zum 10. Mai etwa), wo sie wohl der noch nicht gehörig ausgebildeten Gewandtheit der Untersucher zuzuschreiben sein dürften. Solche auffallenden Resultate, bei denen die Möglichkeit eines Untersuchungsfehlers nicht ohne Weiteres von der Hand zu weisen war, sind in der späteren Tabelle mit einem Fragezeichen versehen.

Es wurden aber auch ganz isolirt dastehende Abweichungen aus der normalen Zahlenreihe beobachtet, welche ihre Erklärung leicht und ungezwungen in dem Verhalten der betreffenden Herren am Abend vorher fanden (Alkoholgenuss, unzureichender Schlaf, körperliche Anstrengung). Zu solchen Ausnahmen ist in der Tabelle dann ein Ausrufungszeichen gesetzt.

Die Ruhewerthe für die Blutdichte sind nun in folgender Zusammenstellung wiedergegeben, wobei der Vollständigkeit wegen auch die in den ersten 14 Tagen gewonnenen angeführt sind, ohne Anspruch auf grosse Genauigkeit zu erheben.

Bis zum 10. Mai:

Herr B. 1058,9, 1058,9, 1054?, 1060,5;
„ P. 1069?, 1060, 1064,5, 1060.
„ C. 1059,8, 1054,6, 1059,5, 1056, 1056, 1056, 1056,5.
„ S. 1062,6, 1061,4, 1061,5, 1062, 1059.
„ F. 1066?, 1060, 1059,2, 1060,2, 1062, 1060.

Trotz mancher Sprünge zeigt sich schon in diesen Zahlen eine gewisse Gesetzmässigkeit. Die Resultate vom 11. Mai ab sind:

Herr B. 1058, 1059, 1059,3, 1958, 1056, 1058, 1060, 1060, 1056 M, 1059,5, 1056, 1060, 1058,5, 1059, 1062, 1064?, 1060, 1061,5, 1061, 1060, 1059,5, 1059, 1059, 1059, 1059, 1059, 1059,5, 1059, 1059, 1059, 1059, 1059,5, 1058,5, 1059, 1059, 1058,5.

Herr P. 1062, 1061, 1062, 1062, 1062, 1061,5, 1061,2 M, 1062, 1061, 1062,5, 1062, 1063,3, 1059,5 M, 1061,5, 1061,5, 1062,5, 1060, 1060, 1060, 1060,5, 1060,5, 1061, 1060,5, 1060, 1060,3, 1061, 1060,5, 1059,5?, 1061,5, 1060,5, 1061,3.

Herr C. 1058, 1056,8, 1058, 1057, 1056, 1056,5, 1056 M, 1057, 1061?, 1058, 1057, 1056, 1055,5, 1057,5, 1057, 1057, 1057, 1056,5, 1057, 1057, 1057, 1057, 1057,5, 1057, 1057, 1057, 1056.

Herr S. 1060,8, 1060,5, 1060,3, 1059, 1058,5, 1064, 1064, 1063, 1063, 1060, 1062, 1062, 1061, 1060, 1061,5, 1061, 1062, 1062, 1060,5 1060,5, 1061, 1061,5, 1061,5, 1062, 1062, 1062, 1061,5, 1061, 1061,5, 1061, 1061, 1061, 1060, 1060,5, 1061.

Herr F. 1062, 1060, 1058!, 1060, 1059,5, 1058, 1062, 1059, 1059, 1060, 1060, 1058, 1057!, 1059, 1062, 1052!, 1059, 1060, 1059, 1058,5, 1058,5, 1059, 1059,5, 1059,5, 1059, 1059, 1059, 1058,5, 1058,5, 1058,5, 1059, 1058,5, 1060, 1060.

Von diesen 155 einwandsfreien Werthen (alle in den Tabellen irgendwie gekennzeichneten, sowie diejenigen bis zum 11. Mai sind hiervon ausgeschlossen) liegt nur einer unter 1056, nur zwei über 1063, die weitaus grösste Zahl dagegen zwischen 1057 und 1062. Nehmen wir die Mittelwerthe, so finden wir:

für Herrn	B.:	1059,1
„ „	P.:	1061,2
„ „	C.:	1057,0
„ „	S.:	1061,2
„ „	F.:	1059,3
Gesammtmittel:		1059,6

Unsere Resultate stimmen mit den Angaben der Forscher, welche sich mit der Blutdichte beschäftigt haben, nur theilweise überein. Während für die obere Grenze zwar überall

ungefähr dieselben Werthe angegeben werden, herrschen bei der unteren bedeutende Abweichungen. So giebt Peiper[1]) an 1045—1066, Landois in seinem Lehrbuch 1045—1075, Lloyd-Jones 1035—1068, Siegl geht sogar bis auf 1025 herab. Dagegen findet sich zwischen unseren Zahlen und denen von Hammerschlag (1056—1063) und Schmaltz (1054,9—1062), den Vertretern der beiden jetzt am Meisten gebräuchlichen Untersuchungsmethoden, eine ganz erfreuliche Uebereinstimmung. Die weitgehenden Differenzen beruhen vielleicht zum Theil darauf, dass von den betreffenden Untersuchern auch pathologisches Material mit herangezogen ist. Ebenso berechnen Sherrington und Copeman[2]) das specifische Gewicht des Menschenblutes nach Roy's Methode auf 1053—1060,5 (an 14 Personen).

Für die rothen Blutkörperchen lauten die Ruhewerthe bis zum 10. Mai (in Tausenden):

Herr B. 5850, 5900, 4650, 5220, 5850, 4000, 5370, 5580, 5870.

Herr P. 5720, 6260, 6000, 6540, 6450, 6110, 6000.

Herr C. 5050, 5170, 5210, 5450, 4770, 4710, 4660, 5270, 5710.

Herr S. 5910, 5400, 5900, 6430, 6570, 8850?, 6010, 5540, 5360.

Herr F. 5400, 5540, 5510, 5690, 5410, 4940, 5560, 5890, 5960.

Die Zahlen sind in dieser Einübungszeit im Allgemeinen schon einigermaassen übereinstimmend, namentlich bei Herrn C., F. und P.

Vom 11. Mai ab ergaben sich folgende Ruhewerthe (in Tausenden):

Herr B. 5170, 5350, 5390, 5140, 5210, 5390, 5290, 5250, 5190, 5340, 5130, 5200, 5210, 5170, 5180, 5220, 5250, 5230, 5210 M.

Herr P. 6260, 6400, 6140, 5510, 5900, 5840, 5770, 5910, 5630, 5740, 5650, 5610, 5730, 5630, 5530, 5910, 5950, 6090.

---

[1]) Centralbl. f. klin. Med. 1891.
[2]) Journ. of Physiol. Bd. 14. No. 1. 1893.

Herr C. 4480, 4880, 5000, 4860, 4150 M, 4870, 5190, 4890, 4830, 4820, 4940, 4880, 4980, 4850, 4400.

Herr S. 5830, 5490, 5420, 5410, 5670, 5610, 5380, 5800, 5700, 5670, 5830, 5530, 5580, 5520, 5780, 5580, 5920?, 5650.

Herr F. 5840, 5570, 5400, 5730, 5950, 5350, 5230, 5840, 5140, 5210, 5280, 5350, 5280.

Es ergiebt sich aus diesen Zahlen, dass — im Gegensatz zur Blutdichte — die Zahl der rothen Blutkörperchen an den einzelnen Vormittagen innerhalb ziemlich weiter Grenzen liegt.

Das Mittel beträgt

für Herrn	B.:	5240000
„ „	P.:	5840000
„ „	C.:	4850000
„ „	S.:	5650000
„ „	F.:	5470000
Gesammtmittel:		5410000

Zwischen Herrn P. und Herrn C. besteht also in der Ruhe immer noch eine Differenz von einer vollen Million, welche sich nur durch die — allerdings recht verschiedene — Individualität der beiden Herren erklären lässt. Die extremen Abweichungen vom Mittelwerth sind bei den Einzelnen verhältnissmässig selten und unbedeutend, sie betragen für die 5 Herren in obenstehender Reihenfolge 150000, 560000, 450000, 270000, 480000.

Die für die einzelnen Herren an den einzelnen Tagen gefundenen Werthe bestätigen die Reinert'sche Ansicht, dass man bei der Blutkörperchenuntersuchung an verschiedenen Tagen nicht immer die gleichen Werthe erhält, sie widersprechen aber der Behauptung desselben Autors, dass nämlich die täglichen Schwankungen in der Zahl der rothen Blutkörperchen am Morgen sich über eine Million belaufen.

Auch reiht sich unser Mittel (5410000) von 5 gesunden, jugendlichen Männern nicht der Vierordt'schen Zahl (5000000), sondern mehr den Werthen von Hayem, Sörensen und Siegl an.

Auch die von Leichtenstern und Reinert besonders betonte Thatsache, dass die Gesichtsfarbe allein für die Beurtheilung der Blutbeschaffenheit — zumal der Zahl der

rothen Blutkörperchen — nicht maassgebend sei, findet in unseren Ruhe-Mitteln eine neue Bestätigung. Denn der stets sehr blass erscheinende Herr F. steht mit dem Mittel 5470000 in der Mitte der 5 Herren und über den meist frisch roth erscheinenden Herren B. und C.

Weiter lieferten unsere Mittel für die einzelnen Herren einen Beweis für die Beobachtung, dass zwischen der Zahl der rothen Blutkörperchen und der Blutdichte (weiterhin auch dem Hämoglobingehalt) bei gesunden Männern in der Ruhe ein Parallelismus besteht, im Gegensatz zu den Befunden bei den pathologischen Zuständen der perniciösen Anämie. Die nachfolgende Tabelle illustrirt den Zusammenhang aufs Deutlichste.

	Rothe Blutkörperchen	Blutdichte
P.	5 840 000	1061,2
S.	5 650 000	
F.	5 470 000	1059,3
B.	5 240 000	1059,1
C.	4 850 000	1057.0

Bei den Leukocyten führen wir gleich die Ruhewerthe vom 11. Mai an auf; die Resultate der Zählungen vor jener Zeit lassen wir fort, da sie gar zu widerspruchsvoll sind, wie ein Blick in das Protokollbuch lehrt.

Herr B. 6330, 8470, 6050, 9130?, 7520, 5480, 4730, 6600, 6200, 7000, 5340 M, 6060, 6470, 6730, 6820, 6800, 7460, 9040, 5400, 8780, 8710, 7590, 7390, 6470, 6990, 6460, 7980, 6510, 6640, 7780, 6710, 8220, 7850, 7060, 6540.

Herr P. 7060, 8360, 4820, 5720, 6270, 5450, 7200, 7160, 6730, 10100!, 6200, 6160 M, 7980, 7790, 8460, 6970, 10160, 6140, 7060, 6860, 7720, 8050, 6800, 7800, 8800, 7980, 8520, 7720, 8050, 7850, 8510.

Herr C. 5760, 8000!, 10880! 8660, 12200! 5280 M, 6140, 5940, 8300?, 7450!, 4030, 6660, 5670, 5610,

7580, 7620, 5890, 7780, 6220, 6660, 7800, 6300, 6300, 5720, 5810, 6160.

Herr S. 5400, 7250, 6790, 8360, 9020?, 4600, 5980, 5730, 4450, 4480, 4730, 5080, 4950, 5410, 5470, 4730, 5940, 6200, 6270, 5640, 6660, 6000, 6200, 5870, 6990, 6470, 6000, 5940, 5670, 6050, 6140, 5870, 6300, 6420, 6270.

Herr F. 6930, 6930, 10400!, 8000!, 7900, 10260!, 6120, 8580!, 4090 M, 6910, 4840, 4400, 5080, 5030, 5580, 4730, 4060, 5830, 6990, 4810, 6690, 5150, 4840, 6710, 6380, 5970, 5060, 5960, 5470, 6390, 4750, 6510, 6200, 5310, 6910, 6200.

Schon ein flüchtiger Blick auf diese Zahlenreihen zeigt uns, dass die Differenzen bei den einzelnen Herren weit grösser sind, als wir das bei der Blutdichte und den rothen Blutkörperchen wahrnahmen, während die Unterschiede zwischen den verschiedenen Versuchspersonen (die Mittel) sich mehr verwischen. Die Mittelwerthe betragen

für	Herrn B.:	6960
„	„ P.:	7340
„	„ C.:	6410
„	„ S.:	5860
„	„ F.:	5840
Gesammtmittel:		6480.

Während die Zahl der rothen Blutkörperchen nach den neueren Forschern auf 5—5 1/2 Millionen bestimmt wird, also nur Differenzen von etwa 10 pCt. bestehen, schwanken die Angaben bezüglich der Leukocyten gar sehr. Ja, es ist sogar wiederholt die Frage aufgeworfen worden, ob die Ergebnisse, welche man mit der Thoma'schen Methode für die weissen Blutkörperchen erhält, wirklich die Zahl der im circulirenden Blut vorhandenen Leukocyten darstellen. Alexander Schmidt meinte im Anschluss an seine Gerinnungstheorie, dass in dem Augenblick, wo das Blut das Gefäss verlasse, bereits eine grosse Zahl von Leukocyten zerfalle. Seiner Ansicht schloss sich Cohnheim an. Neuerdings hat sich namentlich Professor Löwit in Innsbruck[1]) dieser Frage zu-

[1]) Virchow's Archiv. Bd. 117.

gewendet. Er fing das Blut aus dem angestochenen Finger in Oel auf und will dann ein Plus von im Maximum 80,5 pCt. gegenüber dem alten Verfahren (Untersuchung von defibrinirtem Blut) dabei beobachtet haben.

Reinert und Gräber sind übrigens auf Grund ihrer Experimente der Ansicht, dass irgend ein nennenswerther Zerfall von weissen Blutkörperchen während der kurzen Zeit der Zählung nicht stattfinde.

Die Anzahl der Leukocyten im Cubikmillimeter bestimmte Welcker bekanntlich zuerst auf 12000; seine Angabe ist in die meisten Lehrbücher übergegangen. Moleschott und Gowers kamen zu demselben Resultate. Andere Werthe rühren dann her von Malassez (4000—7000), Thoma-Lyon, Gräber und Reinecke. Hayem nimmt 6000 Zellen als Mittel an und meint, dass die Zahl 10000 wohl vorübergehend und ausnahmsweise in das Gebiet des Normalen gehöre, eine wiederholte Constatirung derselben betrachtet er aber als „fait anomal“ Mit seinen Angaben passen unsere Resultate gut zusammen. Ein Theil unserer aus der Reihe herausfallenden, meist hohen Zahlen lässt sich — durch ein Ausrufungszeichen angedeutet — durch unregelmässige Lebensweise am Vortage, auch durch reichlichen Alkoholgenuss erklären. Allerdings konnte Pohl[1]) bei Einverleibung von 12,5 ccm 96proc. Alkohols keine Vermehrung der Leukocyten nachweisen. Indess dürfte es sich in unseren Fällen um grössere Alkoholdosen handeln. Uebrigens sind alle derartigen Werthe bei der Durchschnittsberechnung nicht in Betracht gezogen worden. Auf die Verhältnisszahl zwischen den weissen und rothen Blutkörperchen brauchen wir nur kurz einzugehen, schon Hayem legt auf dieselbe keinen Werth. Wir fanden als Mittelwerth

für Herrn	B.:	1 : 753
„ „	P.:	1 : 797
„ „	C.:	1 : 755
„ „	S.:	1 : 964
„ „	F.:	1 : 936
Gesammtmittel:		1 : 835.

Die äussersten Werthe, welche wir in der Ruhe beobachteten, sind 1 : 1281 und 1 : 577.

[1]) Archiv f. experiment. Pathol. u. Pharmakologie. Bd. 25.

Es würden also auch hier gegen die verbreiteten Angaben von Welcker, welcher 1 : 350 annimmt, sehr grosse Unterschiede bestehen. Dagegen stimmen weit eher die Reinecke'schen Zahlen mit den unseren überein: Im Durchschnitt findet derselbe 1 : 750, doch betrachtet er ein Verhältniss wie 1 : 1000 und 1 : 500 noch als normal.

Die Veränderungen auf Märschen.

Die Veränderungen, welche die Untersuchungen der Blutdichte sowie der rothen und weissen Blutkörperchen nach dem Marsch gegenüber denjenigen vor dem Marsch aufwiesen, sind graphisch in der 3., 4. und 5. Curvenreihe der Taf. 1 zusammengestellt.

Aus unseren Zusammenstellungen geht für das specifische Gewicht des Blutes hervor, dass unter den 109 untersuchten Fällen 101 Mal eine Steigerung zu verzeichnen war, dass 4 Mal das specifische Gewicht nach dem Marsch dasselbe blieb wie vorher und dass nur 4 Mal eine Abnahme notirt wurde. Die Zunahme liegt zwischen 1 und 10 Tausendsteln; letzterer Werth ist nur einmal constatirt worden, in der grossen Mehrzahl der Fälle handelt es sich um 2—6 Einheiten in der dritten Decimale.

Als Durchschnittsmittel ergiebt sich

für Herrn P.:	1065,8	(gegen	1061,2	vor dem Marsch)	
„ „ S.:	1064,4	„	1061,2	„ „	„
„ „ F.:	1063,1	„	1059,3	„ „	„
„ „ B.:	1062,4	„	1059,1	„ „	„
„ „ C.:	1059,5	„	1057,0	„ „	„
Gesammtmittel:	1063	„	1059,6	„ „	„

Man sieht, die Reihenfolge der Herren in der Höhe des specifischen Gewichts nach dem Marsch ist dieselbe geblieben wie bei der Classificirung nach der Blutdichte vor dem Marsch, ein Zeichen, dass die Verarmung des Blutes an wässrigen Bestandtheilen so ziemlich gleichmässig vor sich geht.

Die rothen Blutkörperchen zeigen eine Abnahme ihrer Zahl nach dem Marsch 14 Mal unter 69 Untersuchungen; indess entfallen von diesen 14 Fällen 11 auf die ersten fünf (Einübungs-) Märsche, bei welchen die Untersucher die Methode noch nicht recht beherrschten. Sonst ist stets eine deutliche Vermehrung zu beobachten gewesen.

Die geringste Zunahme betrug (nach dem 5. Marsch) 70000 Zellen im Cubikmillimeter; unter 300000 fanden sich im Ganzen nur 5 Werthe; die grosse Mehrzahl lag zwischen 300000 und 800000. Darüber hinaus sind 7 Fälle verzeichnet, von denen die Höhe bis 1080000 und 1140000 erreicht wurde.

Die Mittel für die einzelnen Herren zeigt folgende Zusammenstellung.

	Vor dem Marsch	Nach dem Marsch	Zunahme
P.	5 860 000	6 500 000	650 000
S.	5 650 000	6 230 000	580 000
F.	5 470 000	6 020 000	550 000
B.	5 240 000	5 703 000	463 000
C.	4 850 000	5 097 000[1])	247 000

Als Gesammtmittel ergiebt sich demnach 5910000 nach dem Marsch gegenüber 5410000 vor dem Marsch; die Zunahme beträgt also eine halbe Million oder 9,2 pCt.

Auch in dieser Tabelle blieb die Reihenfolge der Herren, rubricirt nach der Zahl der rothen Blutkörperchen im Cubikmillimeter nach dem Marsche, dieselbe wie vorher und die absolute Grösse der Zunahme, welche in der dritten Spalte aufgeführt ist, erweist sich um so bedeutender, je höher die Zahl in der Ruhe bei dem betreffenden Individuum ist.

Ehe wir nun aber daran gehen, einen Einfluss der einzelnen Märsche auf das Zustandekommen dieser Veränderungen zu suchen, wollen wir in aller Kürze nachsehen, wodurch wohl die Zunahme der Blutdichte und der rothen Blutkörperchen, welche ja wie im Allgemeinen, so auch nach unseren beiden Tabellen parallel gehen, sich erklären lässt.

Was zunächst die Vermehrung der Erythrocyten anlangt, so könnte man der Ansicht sein, dass dieselben neu gebildet würden, oder zweitens, dass das Blut eine Concentration erführe durch Wasserverlust, oder drittens, dass rothe Blut-

[1]) Marsch 6 und 9 wegen der ganz eigenartigen Verhältnisse fortgelassen.

körperchen in anderen Theilen des Gefässsystems aufgespeichert, durch Muskelthätigkeit in das Capillargebiet der Haut getrieben würden.

Können wir nun bei unseren Märschen zunächst an eine Neubildung denken?

Bei einer Reihe von Veränderungen der Zahl der rothen Blutkörperchen, welche sich experimentell erzeugen lassen und als solche meist nur von kurzer Dauer sind (psychische Einwirkung auf die vasomotorischen Centren, Einfluss von Wärme und Kälte, Erhöhung des Venendrucks, Vagusreizung, Durchschneidung und Reizung des Rückenmarks), wird Niemand — um Zuntz' und Cohnstein's[1]) Worte zu gebrauchen — an Zerstörung oder Neubildung der rothen Blutkörperchen denken, „wo wir in einer Stunde eine Reihe von Malen hohe und niedrige Werthe einander folgen lassen können".

Nach einem grösseren, etwa $^1/_3$ des Gesammtblutes entziehenden Blutverluste dauert es trotz der unzweifelhaft gesteigerten Thätigkeit des Knochenmarks mindestens einige Wochen, ehe das Blut regenerirt ist, d. h. pro Cubikmillimeter etwa $1\,^1/_2$ Millionen rother Blutkörperchen neu gebildet sind.

Bei einer einfachen Anämie oder Chlorose — allerdings pathologischen Zuständen — dauert es meist gar Monate lang, bis wir durch sorgsame Therapie eine Steigerung der Blutkörperchenzahl erreichen, wofür Stierlin[2]) ein Beispiel bei den Kindern einer Ferienkolonie bringt.

Doch sind das, ebenso wie die in neuerer Zeit durch Viault, Egger, Wolff, eine Anzahl Schüler Miescher's und durch Schaumann und Rosenquist studirten Höhenwirkungen, immer Veränderungen, die sich über Wochen erstrecken, und wo acutere Wirkungen auftreten, sind Aenderungen in der Vertheilung der Blutkörperchen durch vasomotorische Wirkungen wenigstens wahrscheinlicher als Neubildung. Bei uns handelt es sich um die Einwirkung eines 6stündigen Marsches, welcher, mag er auch noch so grosse Umwälzungen in den Functionen des Organismus hervorbringen, doch sicher nicht eine etwa 25mal schnellere Neubildung rother Blutkörperchen anregen kann, als ein Aderlass, Eisenmedication in geeigneten Fällen oder eine Höhenkur.

---

[1]) Arch. f. Physiol. Bd. 42.
[2]) D. Arch. f. klin. Med. 1889.

Dazu kommt, dass kernhaltige Erythrocyten oder Uebergangsformen aus Leukocyten nie von uns beobachtet wurden, ferner, dass, wenn thatsächlich während des Marsches eine Neubildung von rothen Blutkörperchen stattfände, dieses werthvolle, neugebildete Material im Laufe weniger Stunden wieder zu Grunde gegangen sein müsste; denn am nächsten Tage war der normale Blutkörperchengehalt wieder hergestellt.

Somit wäre die Frage nach einer Neubildung von Erythrocyten während des Marsches zu verneinen.

Als Hauptmoment für die Blutkörperchenvermehrung hat man meist eine Concentration des Blutes durch die auch für unsere Verhältnisse zutreffende Wasserabgabe durch die Lungen und vor Allem den Schweiss aufgefasst. Ohne Frage spielt die Schweissabsonderung bei der Vermehrung der Erythrocyten nach den Märschen eine gewisse Rolle, welche noch mehr in die Erscheinung treten würde, wenn nicht die zur Schweissabgabe direct proportionale Flüssigkeitsaufnahme die Wirkungen derselben auf das Blut wieder ausgliche. Keinesfalls kann aber die Eindickung des Blutes durch die Wasserverdunstung die alleinige oder auch nur die hauptsächlichste Ursache der Zunahme der Erythrocyten und des specifischen Blutgewichtes sein. Man bedenke nur, dass jeder Wasserverlust des Körpers mit dem Blute alle wasserhaltigen Organe des Körpers treffen muss, da ja jede durch Wasserverlust bedingte Steigerung des osmotischen Druckes der Blutflüssigkeit eine ausgleichende Ueberwanderung von Wasser aus den Gewebssäften in die Capillaren zur Folge hat. Die gesammte Wassermasse im Körper des Menschen beträgt etwa 68 pCt. seines Gewichts[1]); bei 70 kg Körpergewicht also etwa 47,6 kg. Wie in dem Capitel von der Wärmebilanz näher ausgeführt wird, betrugen die Wasserverluste des Körpers durch Haut und Lungen zuweilen über 3 kg, ferner noch einige 100 g in Form von Urin; diesen Verlusten stehen aber erhebliche Zufuhren gegenüber, welche durchgehends mehr als die Hälfte des Wasserverlustes decken. Dazu kommt die etwa 300 g betragende Bildung von Wasser bei der Oxydation von Kohlenhydraten und Fetten. Wir überschätzen daher sicher den Wasserverlust des Körpers erheblich, wenn wir ihn auf 2 kg im Durchschnitt veranschlagen. Dann würde also der Körper $^1/_{24}$ seines Wasservorrathes eingebüsst haben.

[1]) Vierordt, Daten und Tabellen. Jena 1888. S. 187.

Das Blut hat in 100 Vol. 78 Vol. Wasser. $^1/_{24}$ hiervon ist 3,25 Vol. Es werden also bei dem grössten von uns beobachteten Wasserverlust 100 Vol. Blut auf 100—3,25 = 96,75 Vol. eingedickt. In diesem kleineren Volum sind die vorher in 100 Vol. Blut enthaltenen 5410000 Blutkörperchen enthalten, d. h. die Zahl ist auf $\frac{5410000 \cdot 100}{96{,}75} = 5590000$ um 180000 gestiegen. Aus dem übertrieben hoch geschätzten Wasserverlust lässt sich also nur ein kleiner Theil, kaum ein Drittel, der factisch erfolgten Zunahme der Erythrocyten erklären. Nun ist weiter zu bedenken, dass beim Schwitzen vasomotorische Momente ins Spiel kommen, welche geeignet sind, die Blutkörperzahl herabzudrücken.

Grawitz[1]) fand bei seinen Untersuchungen in 12 Fällen beim Schwitzen eine individuell verschiedene Steigerung der Blutdichte, in 6 Fällen dagegen (also in 33 pCt.) trotz reichlichen Wasserverlustes ein annäherndes Gleichbleiben oder sogar eine Erniedrigung. Diese anscheinend paradoxen Ergebnisse erklärt Grawitz durch gewisse Wechselverhältnisse zwischen Blut und Gewebsflüssigkeit in Folge von vasomotorischen Einflüssen: Bei Einwirkung von Kälte „findet mit der Contraction der Blutgefässe und mit der Steigerung des Blutdruckes eine Concentration des Blutes, d. h. ein Austritt von Flüssigkeit statt"; dagegen zeigt sich bei Erwärmung der Körperoberfläche „mit der Dilatation der Gefässe und dem Sinken des Blutdruckes ein Uebertritt von Flüssigkeit in das Blut". Grawitz nimmt nun bei den 6 negativ ausgefallenen Versuchen an, dass „der vasodilatatorische Einfluss der Wärme auf die Gefässe soweit überwiegt, dass trotz der Abgabe des Schweisses eine Verdünnung des Blutes eintritt."

Knöpfelmacher[2]) erklärt die nach kaltem Baden beobachtete Zunahme der rothen Blutkörperchen in ähnlicher Weise.

Indess bewegen sich diese Ansichten nur auf dem Gebiet der Hypothese, wie auch die folgende von Winternitz[3]), welcher glaubt, die Vermehrung der rothen Blutkörperchen nach kalten Bädern oder activer Muskelthätigkeit durch eine andere Vertheilung der Blutkörperchen in der Blutbahn er-

[1]) Zeitschr. f. klin. Med. 1892. u. Centralbl. f. klin. Med. 1894.
[2]) Wiener klin. Wochenschr. 1893.
[3]) Centralbl. f. klin. Med. 1893.

klären zu müssen: Unter gewöhnlichen Bedingungen sollen nach ihm in gewissen Organen Stauungen, Anhäufungen von weissen und rothen Blutkörperchen statthaben, welche unter besonders günstigen Circulationsverhältnissen in den allgemeinen Kreislauf geworfen werden. Winternitz rechnet hierhin namentlich Aenderungen der Herzaction und des Gefässtonus. Er knüpft daran die Bemerkung, dass durch eine derartige Mitarbeit bis dahin unbenutzter Blutzellen der Gesammtstoffwechsel und die Sättigung der Gewebe mit Sauerstoff eine bessere werde und sucht so den Nutzen kalter Bäder und der Muskelthätigkeit theoretisch zu begründen. Seine Ausführungen sind, namentlich wohl deshalb, weil die Existenz derartiger „präformirter Zellen" nicht scharf bewiesen ist, von verschiedenen Seiten (Grawitz und Knöpfelmacher) bekämpft worden.

Zuntz und Cohnstein[1]) traten aber schon früher der Frage experimentell und mit dem Mikroskop näher. Sie fanden, dass im normalen Kreislauf die Blutkörperchen in den meisten Capillaren eine dichte Colonne bilden; doch giebt es auch einzelne Capillaren, durch welche nur hier und da ein Blutkörperchen hindurchschiesst (Vasa serosa). Nach vasodilatatorischen Einflüssen, z. B. Durchschneidung des Rückenmarkes, erweitern sich sämmtliche Gefässe stark und nun sind alle Capillaren dicht gefüllt mit Blutkörperchen. Dies hat zur Folge, dass das vorher im Capillargebiet — und zwar den Vasa serosa — überschüssig vorhandene Plasma sich nun gleichmässig im ganzen Blut vertheilt und dieses verdünnt. Vasodilatation verdünnt also das Blut der Gefässstämme und verringert die Zahl der Blutkörperchen im Cubikmillimeter. Eine durch psychische oder wärmeregulatorische Einflüsse bedingte Vasodilatation würde demnach unter Umständen auf unseren Märschen der Eindickung des Blutes durch Schweissabsonderung entgegenwirken können. Directe Beweise hierfür lieferten die Erwärmungsversuche Loewy's an Kaninchen[2]). Er fand nach mehrstündigem Aufenthalt im Brutschrank bei 35—37° C. den Wassergehalt des Serums und ausgeschnittener Muskelstücke fast regelmässig vermindert, den des Blutes aber erheblich erhöht. Denselben

---

[1]) Arch. f. Physiol. Bd. 42. 1888.

[2]) Ueber Veränderung des Blutes durch thermische Einflüsse. Berl. klin. Wochenschr. 1896. No. 41.

Gegensatz zeigte das specifische Gewicht von Serum und Gesammtblut. Bei kurz dauernder, aber starker Erwärmung ($^1/_2$—15 Minuten) war eine Aenderung der Dichte des Serums gar nicht nachweisbar, die Abnahme beim Blute dagegen sehr erheblich. Zählungen ergaben, dass die Abnahme des Trockengehaltes und der Dichte des Blutes auf Verminderung der Erythrocyten beruhte.

Wir müssen uns also nach anderen Ursachen der Eindickung des Blutes umschauen. Hier kommt nun die von Ranke bei seinen Studien über den Tetanus entdeckte Thatsache in Betracht, dass der arbeitende Muskel wasserreicher wird und um so mehr, je stärker er arbeitet. Der Zunahme des Wassergehaltes im arbeitenden Muskel entsprechend fand Ranke eine Abnahme des Wassergehaltes im Blute. Jacques Loeb[1]) hat diese Erscheinungen aus der Zunahme des osmotischen Druckes im Muskel, welcher die nothwendige Folge der mit der Thätigkeit einhergehenden Spaltungsprocesse ist, befriedigend erklärt. Da der osmotische Druck der thätigen Muskeln den der ruhenden um 50 pCt. und mehr übertrifft, da beim Marschiren ein erheblicher Theil der ganzen Körpermuskulatur thätig ist, reicht der durch die Arbeit bedingte Uebertritt von Wasser aus dem Blute in die thätigen Muskeln auch quantitativ zur Erklärung der beobachteten Eindickung des Blutes aus.

Vielleicht aber spielt dabei noch ein anderes Moment mit. Die durch Schnitt dem Ohrläppchen entnommenen Blutproben entstammen theils kleinsten Venen, theils eigentlichen Capillaren. Für letztere aber gelten die oben gemachten Ausführungen, wonach sie in der Ruhe theilweise Vasa serosa sind, bei der in Folge des Marsches eintretenden Dilatation aber sich alle mit rothen Blutkörperchen anfüllen. Es würde daher auch, wenn das Blut der grossen Stämme seine Concentration gar nicht geändert hätte, die aus dem Ohrläppchen entnommene Probe sich reicher an Blutkörperchen, also auch specifisch schwerer erweisen müssen. Gerade dieses Moment wird natürlich je nach der Tiefe des Schnittes, je nachdem derselbe eine etwas grössere Vene geöffnet hat, und je nach dem Contractionszustande der Gefässe in den Ruheversuchen die einzelnen Bestimmungen in sehr wechselndem Grade be-

[1]) Ueber die Entstehung der Activitätshypertrophie der Muskeln. Pflüger's Arch. 56. S. 270.

einflussen. Beweise dafür finden sich zahlreich in den Untersuchungen von A. und J. Loewy und Leo Zuntz[1]).

Nach diesen Erörterungen wird es nicht Wunder nehmen, dass die Betrachtung der einzelnen Märsche in ihrer Wirkung auf die Blutdichte und die Zahl der rothen Blutkörperchen keine einfache Beziehung der Veränderungen zur Grösse der Anstrengung, zur Stärke der Wasserausscheidung, zur Höhe der Lufttemperatur erkennen lässt. Dass aber alle diese Momente an der Gestaltung der Blutveränderungen Antheil haben, geht bei Betrachtung der Curventafel aus dem Parallelismus in der Darstellung des Wasserverlustes und der Zahl der rothen Blutkörperchen hervor. Man betrachte bei Herrn P. Marsch 9, 10, 11, 12, 13; bei Herrn S. 11, 12, 13, 14, 20, 21, 22, 23, 24; bei Herrn F. 20, 21, 22, 23, 26, 27, 28. Doch fehlt im Grossen und Ganzen diese Uebereinstimmung. Auch mit der Belastung erheben sich die Säulen nicht ganz gleichmässig, obschon die drei letzten Märsche, welche mit nur 22 kg unternommen wurden, trotz der erheblichen Hitze, namentlich des 26. Marsches, bei allen Herren ein niedriges specifisches Blutgewicht ergaben. Bezüglich der rothen Blutkörperchen lässt sich ein solcher Einfluss der Belastung noch weniger erkennen.

Noch ein Punkt scheint der Erörterung werth, ob nämlich durch die, längere Zeit fortgesetzte, körperliche Arbeit nicht eine dauernde Erhöhung im specifischen Gewicht oder in der Blutkörperchenzahl eintritt. Es liegt dies anzunehmen deshalb nicht gar so fern, als auch andere Gewebe, wie die Muskeln, die Haut, eine Besserung ihres Ernährungszustandes erfahren haben. Indess ist das beim Blut nicht der Fall: Das specifische Gewicht und ebenso die Zahl der rothen Blutkörperchen ist bei allen Herren bei Beginn des 28. Marsches genau dasselbe wie beim ersten Marsch. Diese Erfahrung widerspricht der Annahme von L. Jones, welcher bei zwei Cirkuskünstlerinnen eine um etwa 6 Einheiten höhere Blutdichte, als bei anderen Frauen fand und dies der fortgesetzten Muskelthätigkeit zuschrieb, und der Beobachtung von Cadet[2]), welcher nach mehrmonatlicher Erntearbeit eine ausgesprochene Verminderung der Erythrocyten nachwies. In diesen Fällen

---

[1]) Ueber den Einfluss der verdünnten Luft und des Höhenklimas auf den Menschen. Pflüger's Arch. 66. S. 528 ff.

[2]) Etude physiol. des élem. fig. du sang. Paris 1881.

scheinen aber auch erhebliche Unterschiede in der Ernährung nicht ausgeschlossen zu sein, und solche könnten die Zunahme der Blutdichte unabhängig von der Arbeit bedingt haben.

Bei den weissen Blutkörperchen ist nur in wenigen und dann meist im Vorleben oder in der Einübungszeit ihre Erklärung findenden Fällen nach dem Marsche eine geringe Abnahme beobachtet worden, sonst stets eine mehr oder minder beträchtliche Steigerung. Diese schwankt zwischen einigen Hunderten und etwa 14000; die meisten Werthe liegen zwischen 2000 und 5000.

Die Mittel für die einzelnen Herren sind folgende:

Herr P.:	10250	gegen	7340	vor	d.	Marsch;	Zunahme	2910
„ B.:	9860	„	6960	„	„	„	„	2900
„ C.:	9490	„	6410	„	„	„	„	3080
„ F.:	8660	„	5840	„	„	„	„	2820
„ S.:	8330	„	5860	„	„	„	„	2470
Gesammt-mittel:	9320	„	6480	„	„	„	„	2840

Als Grund für die Zunahme der weissen Blutkörperchen kommt nach dem früher Gesagten die Concentration des Blutes durch Wasserabgabe nur wenig in Betracht, um so weniger, als ihr vasodilatorische Einflüsse (Zuntz-Cohnstein) sowie Flüssigkeitsaufnahme unterwegs entgegenwirken. Dagegen kann man, und das wohl für die weissen Blutkörperchen mit grösserer Berechtigung als für die rothen, eine erhöhte Zufuhr von Zellen in den Blutstrom annehmen. Wahrscheinlich gemacht wird letztere durch die von Knöpfelmacher, wie auch schon von Zuntz und Cohnstein publicirte Beobachtung, dass die procentische Zunahme der rothen und weissen Blutkörperchen eine ganz verschiedene ist (in unseren Mittelwerthen 9 pCt. und 43 pCt.).

Einen Anhalt zur Entscheidung dieser Frage suchten wir noch dadurch zu gewinnen, dass das Verhältniss zwischen den einzelnen Arten der Leukocyten vor und nach dem Marsche genau festgestellt wurde. Zu diesem Zweck bestimmten wir in Trockenpräparaten die polynucleären Leukocyten, denen wir auf Prof. Ehrlich's Vorschlag auch die recht spärlichen grossen mononucleären und sogen. Uebergangsformen zuzählten, sodann zweitens die einkernigen kleinen Lymphocyten mit dem grossen Kern und sichelförmigen Protoplasmaleib und drittens die eosinophilen Zellen. Die

erhaltenen Resultate sind in den beiden folgenden Tabellen zusammengestellt. Untersucht wurden nur die beiden Herren B. und P., welche während der Zeit der Untersuchung auf diese drei Arten der Leukocyten mit abgewogener Nahrung in täglich ganz gleichmässiger Weise sich ernährten.

Herr B.

	Polynucleäre Zellen			Lymphocyten			Eosinophile Zellen			Gesammtzahl		
	in pCt.			in pCt.			in pCt.					
	vorher	nachher	absolute Aenderung	vorher	nachher	absolute Aenderung	vorher	nachher	absolute Aenderung	vorher	nachher	absolute Aenderung
Marsch 23	73	79	+ 3285	24	21	+ 560	3	0	—	6990	10 620	+ 3630
„ 25	71	82	+ 4625	27	15	— 270	2	3	+ 215	7980	12 550	+ 4570
„ 26	69	76	+ 3225	28	20	+ 190	3	4	+ 215	6710	10 340	+ 3630
„ 28	69	78	+ 3200	28	20	+ 15	3	2	— 15	7850	11 050	+ 3200

Herr P.

	Polynucleäre Zellen			Lymphocyten			Eosinophile Zellen			Gesammtzahl		
	in pCt.			in pCt.			in pCt.					
	vorher	nachher	absolute Aenderung	vorher	nachher	absolute Aenderung	vorher	nachher	absolute Aenderung	vorher	nachher	absolute Aenderung
Marsch 23	71	77	+ 4210	27	21	+ 630	2	2	+ 100	6800	11 740	+ 4940
„ 24	70	80	+ 2460	27	19	— 225	3	1	— 135	7800	9 900	+ 2100
„ 25	71	78	+ 1870	23	19	— 40	6	3	— 220	8800	10 410	+ 1610
„ 26	72	79	+ 3305	24	19	+ 280	4	2	— 85	7720	11 220	+ 3500
„ 27	69	77	+ 3130	27	21	+ 195	4	2	— 95	8050	11 280	+ 3230
„ 28	67	76	+ 2360	30	23	— 45	3	1	— 135	7850	10 030	+ 2180

Ausserdem haben wir als Ruhewerthe folgende Zahlen erhalten:

Herr B.			Herr P.		
Polynucleäre Zellen pCt.	Lymphocyten pCt.	Eosinophile Zellen pCt.	Polynucleäre Zellen pCt.	Lymphocyten pCt.	Eosinophile Zellen pCt.
72	26	2	72	25	3
72	27	1	69	27	4
70	26	4	71	26	3
71	24	5	67	29	4
71	25	4	—	—	—
70	28	2	—	—	—
71	28	1	—	—	—

Es finden sich demnach vor dem Marsch 70,3 pCt. polynucleärer Leukocyten, 26,5 pCt. Lymphocyten und 3,2 pCt. eosinophiler Zellen: Zahlen, welche mit den Ehrlich'schen Angaben gut übereinstimmen. Durch den Marsch nimmt relativ die erste Gruppe zu, die zweite und dritte ab, letztere in geringerem Grade. Das Verhältniss nach dem Marsche lautet jetzt 77,8—20,3—1,9 pCt. Absolut betrachtet werden durch die körperliche Anstrengung die mehrkernigen Zellen vermehrt, die Lymphocyten halten sich ungefähr auf derselben Höhe und die eosinophilen Zellen sind bei Herrn P. stets beträchtlich vermindert, während sich bei Herrn B. über das Verhalten derselben nichts Bestimmtes aussagen lässt.

Es scheint jedoch, als ob auch bei den kleinen Lymphocyten in der Mehrzahl der Fälle, namentlich bei starker Gesammtzunahme, eine geringe Steigerung auftrete. Indess sind die erhaltenen Differenzen — dies gilt auch von den wenigen negativen — meist sehr geringfügig.

Als wichtigstes Resultat ist jedenfalls für uns — die dritte Gruppe kann ihrer geringen Menge wegen nicht in Betracht kommen — die erhebliche Vermehrung der polynucleären Zellen zu betrachten. Sie erklärt sich am einfachsten durch die Annahme, dass aus irgend einer Quelle dem Strom des Blutes eine gewisse Menge polynucleärer Elemente zugeführt werden.

Woher stammen dieselben nun?

Man muss für das Zustandekommen der Leukocytose zwei hauptsächliche Ursachen von einander halten, einmal die Nahrungsaufnahme und dann die körperliche Anstrengung.

Virchow, welcher den Begriff der digestiven Leukocytose aufstellte, erklärt dieselbe bekanntlich dadurch, dass die Mesenterialdrüsen durch den zugeführten Chylussaft gereizt würden. Von ähnlichen Gesichtspunkten geht Pohl[1]) aus, der eine Stunde nach der Nahrungsaufnahme im Darmvenenblut weit mehr Leukocyten fand, als in demjenigen der zuführenden Arterie. Er schloss hieraus, dass während der Verdauung im lymphatischen Darmgewebe eine lebhafte Neubildung aus den aufgenommenen Nährstoffen mit darauf folgender Ausschwemmung in die Blutbahn vor sich gehe. Die Leukocytose, welche bei vielen acut fieberhaften Krankheiten auftritt, betrachten Limbeck und Römer ebenfalls als eine vermehrte Neubildung, theils durch Bakterien selbst, theils durch die von ihnen gebildeten Stoffwechselproducte bedingt. Auch Löwit nimmt als Hauptgrund „einen vermehrten Zufluss jugendlicher leukocytärer Elemente aus den die Blutzellen bildenden Organen“ an. Desgleichen hält Jacob[2]) an einer Neubildung fest. Rieder[3]) sieht zwar auch noch eine Neubildung als mitwirkend an, das wesentlichste Moment ist aber nach ihm eine abnorme Vertheilung der Leukocyten im kreisenden Blute zu Gunsten der peripheren Gefässbahnen. Zu einer ähnlichen Anschauung kommt der Eine von uns (Z.), namentlich im Anschluss an die Randschichtenbildung Cohnheim's, desgleichen Knöpfelmacher, Winternitz (nach kalten Bädern und Muskelthätigkeit) und Thayer[4]). Besonders eingehend hat sich mit dieser Frage auch Schultz beschäftigt in seiner Dissertation[5]), namentlich auch in Vergleichung mit einigen Ergebnissen nach körperlicher Arbeit. Auch er sieht in der Vermehrung nach Nahrungsaufnahme nur eine andere Vertheilung aus den centralen grossen Venen nach der Peripherie hin. Als Gründe führt er an: Den stärkeren arteriellen Zufluss in Folge der Nahrungsaufnahme, ferner das Verdauungsfieber, welches mit erhöhter Pulsfrequenz einhergeht und dadurch viele wandständige Zellen

---

[1]) Arch. f. experim. Pathol. Bd. 25.
[2]) Arch. f. Physiol. 1893.
[3]) Beitr. z. Kenntniss der Leukocytose. 1892.
[4]) Bull. of the John Hopkins-Hosp. Baltimore. IV.
[5]) Leipzig 1893.

mit fortreisst, endlich eine Compression der Venen durch den gefüllten Magen, welche die Stromgeschwindigkeit in ihnen beschleunigt.

Durch alle diese Arbeiten wird es wahrscheinlich gemacht, dass auch bei unseren Märschen durch die Steigerung der Herzthätigkeit, des Blutstromes im venösen System eine grosse Zahl Leukocyten in den Blutstrom geschleudert wird, und dass dadurch die von uns gefundene, sehr beträchtliche Arbeitsleukocytose entsteht. Stammen diese Leukocyten nun aus den blutbereitenden Drüsen? Nach Ehrlich und mit ihm in Uebereinstimmung auch nach Muir[1]) liefern die blutbereitenden Drüsen fast nur einkernige Elemente, welche sich erst im Blut selbst in die mehrkernigen Formen verwandeln und als solche allmählich wieder zerfallen. Da nun die Vermehrung bei unserer Arbeitsleukocytose fast ausschliesslich polynucleäre Elemente betrifft, so kommen dabei die blutbereitenden Drüsen als Quelle der Marschleukocytose nicht in Frage. Man kann vielmehr nur die Bildungsstätten der polynucleären Elemente, Milz oder Knochenmark, verantwortlich machen oder aber man lässt den Ueberschuss an vielkernigen Zellen von den Wänden der Venen in die Blutbahn durch gesteigerte Blutbewegung herausgeschwemmt werden.

Gegen eine erhebliche Neubildung lässt sich anführen — analog den Verhältnissen bei den rothen Blutkörperchen —, dass die Leukocytose, in analogen Fällen, so namentlich nach Einwirkung kalter Bäder sich beliebig oft erzeugen lässt, um dann binnen Kurzem wieder zu verschwinden. Dabei ist an ein Entstehen und Vergehen von weissen Blutkörperchen nicht wohl zu denken.

Auch bei den weissen Blutkörperchen lassen sich charakteristische Besonderheiten der einzelnen Märsche — sei es durch eine Belastung von 22 oder 31 kg, sei es durch Indisposition oder hohe Lufttemperatur — nicht erkennen: die Curve der Zunahme der Leukocyten stimmt weder mit derjenigen der Blutdichte, noch der rothen Blutkörperchen, noch der Athmung oder der Temperatur oder Pulszahl genau überein, obwohl gerade die letzten 3 Märsche, welche nach 3 Märschen mit Maximalbelastung (31 kg) folgten, und auf welchen nur 22 kg getragen wurden, auch meist die Curve der Zunahme der weissen Blutkörperchen etwas herabdrücken,

---

[1]) The journ. of anat. and physiol. 25.

und obschon sich hier und da eine weitere — aber vereinzelte — Uebereinstimmung mit anderen Curven herausfinden lässt (s. Tab. 1).

Die Frage schliesslich, ob sich in der Zahl der Leukocyten in Folge der Märsche vielleicht eine dauernde Aenderung eingestellt habe, lässt sich dahin beantworten, dass bei Herrn F., C. und S. davon keine Rede sein kann, während die beiden anderen Versuchspersonen in der zweiten Hälfte der Märsche vielfach höhere Ruhewerthe aufwiesen, als in der ersten. Diese könnten vielleich deshalb als eine dauernde Zunahme aufgefasst werden, als gerade an diese beiden Herren durch die vor und nach dem Marsch angestellten Respirationsversuche auf der Tretbahn erhöhte körperliche Anforderungen gestellt wurden.

Vielleicht aber ist die Vermehrung der Leukocyten auch durch die gleichmässigere und reichlichere Ernährung dieser beiden Herren bedingt. Im Gegensatz zu den drei anderen haben sie in den letzten Wochen des Versuches an Gewicht zugenommen, weil sie eine reichlich bemessene, täglich gleiche Nahrung des Stoffwechselversuches wegen zu sich nahmen.

Als Ergebniss dieser Blutuntersuchungen lässt sich demnach Folgendes aufstellen. Durch einen Marsch von ca. 25 km unter einer Gesammtbelastung von 22—31 kg trat im specifischen Gewicht des Blutes eine Erhöhung von 2—6 Tausendsteln ein, die rothen Blutkörperchen nahmen etwa um 9 pCt., die weissen um etwa 43 pCt. zu. Der Hauptgrund für die Zunahme der ersten beiden Faktoren war in einer Concentration des Blutes hauptsächlich durch die Wasserabgabe zu suchen; dabei spielte indess die Wasserabgabe nach aussen nicht die Hauptrolle, vielmehr scheint der durch die Stoffwechselproducte erhöhte osmotische Druck der thätigen Muskeln dem Blute Wasser in grösseren Mengen zu entziehen; daneben kommen noch gewisse vasomotorische Einflüsse in Betracht. Für eine nennenswerthe Neubildung von rothen Blutkörperchen während des Marsches liess sich kein Beweismaterial auffinden. Bei den weissen Blutkörperchen machten die wohl von den Wänden grösserer Venen in Folge der gesteigerten Herzthätigkeit fortgerissenen polynucleären Gebilde den grösseren Theil der Vermehrung aus. Am Tage nach dem Marsche herrschten wieder normale Verhältnisse; nur bei den weissen Elementen war, wie gesagt, bei zwei Herren eine dauernde Steigerung bemerkbar.

Eine deutliche Abhängigkeit der Höhe der Veränderung der 3 untersuchten Bluteigenschaften von der Belastung oder anderen Einflüssen liess sich nicht mit Sicherheit nachweisen.

d) Mechanik der Athmung.

Wenn man den Brustkorb des Soldaten mehr oder minder belastet, das heisst, sowohl das Gewicht des den Schultergürtel sowie die Wirbelsäule mit ihrer Muskulatur beschwerenden Tornisters ändert, wie auch durch Einlage scharfer Patronen in die Patronentaschen die Bauchathmung beschränkt, so muss nothwendiger Weise auch die Ergiebigkeit der Athmung sich ändern, die Athembewegungen werden durch eine Vermehrung jener entgegenwirkenden Schädlichkeiten weniger tief, oder aber sie werden, um gleich viel Athemluft fördern zu können, eine grössere Kraftentwickelung der Muskulatur erheischen und dadurch zur vorzeitigen Ermüdung des Organismus beitragen; in diesem letzteren Falle tritt die geringere Zufuhr der Athemluft erst dann ein, wenn die Athemmuskeln, auch die Hilfsmuskeln, zu versageu anfangen. Eine mangelhafte Athmung kann also bei einem belasteten Soldaten zwei Ursachen haben, einmal allein schon die mechanische Behinderung durch das Gepäck, zweitens die Ermüdung der gerade durch die mechanisch entgegenwirkende Last über Gebühr angestrengten Athmungsmuskeln. Dem Einfluss jedes einzelnen dieser beiden Momente auf die Ausdehnungsfähigkeit des Brustkorbs beizukommen, musste unsere Aufgabe sein. Wir glaubten das am zweckmässigsten zu erreichen durch Messung der Vitalcapacität, jener Luftmenge, welche man nach maximaler Inspiration durch eine maximale Exspiration ausathmen kann, am belasteten wie unbelasteten Brustkorb, und zwar einerseits am frischen, andererseits an dem durch die Marschleistung ermüdeten Manne.

Bekanntlich wurde diese Untersuchungsmethode in die Reihe der klinischen Diagnostica im Jahre 1846 von John Hutchinson eingefügt; man hoffte zu jener Zeit, sie würde namentlich für die Erkennung der Brustkrankheiten den Schatz der diagnostischen Untersuchungsmethoden um ein nicht unwichtiges Hilfsmittel bereichern. Indess haben sich die weit-

gehenden Hoffnungen Hutchinson's und seiner Nachprüfer wie Vogel und Simon (1848, Giessen), welche „Miliartuberkeln annahmen, wenn die Respirationsgrösse um 1000 ccm geringer als die normale war, und Auscultation und Percussion keine objectiven Symptome anzeigten", wenigstens bezüglich der klinischen Aussichten nicht ganz erfüllt. Doch ist sowohl für den Kliniker wie für den Physiologen die Bestimmung der Vitalcapacität als Ausdruck der respiratorischen Leistung der Lunge und des Brustkorbes eine werthvolle Untersuchungsmethode geblieben. Auch wir haben uns derselben zu unserem Zwecke bedient. Allerdings haben wir nach einigen orientirenden Vorversuchen den Hutchinsonschen Spirometer bei Seite gelassen und haben, weil dies bequemer und zugleich auch genauer ist, in eine genau justirte Experimentirgasuhr ausathmen lassen. Vor und unmittelbar nach jedem Marsch exspirirte jeder der marschirenden Herren nach Verschluss der Nase mehrere Male — und darin lag gerade der Vorzug des von uns benutzten Instruments — hinter einander in die Gasuhr aus; ein anderer der Herren las die Angaben des Zeigers ab. Aus diesen Angaben wurde dann das Mittel berechnet und als Vitalcapacität notirt. Gleich vom ersten Marsch an bestimmten wir dieselbe bei jedem Herrn, allerdings nach dem Ablegen des Gepäcks; vom 10. Marsch ab aber wurde der Versuch sofort nach dem Einrücken mit vollem Gepäck und dann noch einmal ohne Gepäck angestellt. Eine Verschiedenheit in den Ergebnissen war dann unzweifelhaft dem mechanischen Einfluss des drückenden oder zusammenschnürenden Gepäcks zuzuschreiben.

Im Ganzen verfügen wir über 69 Mittelwerthe mit Gepäck und 87 ohne dasselbe. Die Tabelle I im Anhange giebt einen schnellen Ueberblick über die Differenzen der gewonnenen Werthe vor und nach dem Marsch, also über die Aenderung der Vitalcapacität durch den Marsch, mit deren Interpretirung wir uns jetzt noch etwas näher beschäftigen wollen. Wir entnehmen der Tabelle, dass die Zunahmen der Vitalcapacität sich hauptsächlich nach abgelegtem Gepäck finden; mit Gepäck belastet konnten die Herren nur in 6 Fällen — davon nur 2 mit Maximalbelastung — bei Feststellung der Vitalcapacität einen grösseren Werth nach dem Marsch erzielen, als vorher. Im Ganzen betrachtet finden sich bei den 69 Werthen mit

Gepäck 50 Abnahmen, 13 Mal ± 0, 6 Zunahmen. Von 87 Bestimmungen ohne Gepäck 55 Abnahmen, 13 Mal ± 0, 19 Zunahmen.

Schon diese Zahlen weisen uns auf den nachtheiligen Einfluss hin, welchen die Belastung ganz im Allgemeinen auf die Erweiterung des Brustkorbes bei der Athmung ausübt. Genaueres erfahren wir, wenn wir Zunahme, Gleichbleiben und Abnahme auf die 3 Gruppen von Märschen (I nicht über 22 kg, II etwa 27 kg, III etwa 31 kg Belastung) vertheilen, wie es in den beiden folgenden Zahlenzusammenstellungen geschehen ist.

I. Mit Gepäck.

	I (22 kg)		II (27 kg)		III (31 kg)	
	absolute Zahlen	in pCt.	absolute Zahlen	in pCt.	absolute Zahlen	in pCt.
Abnahme	7	64	18	72	25	76
Gleichbleiben	2	18	5	20	6	18
Zunahme	2	18	2	8	2	6
Summa	11	—	25	—	33	—
			69			

II. Ohne Gepäck.

	Absolute Zahlen	in pCt.	Absolute Zahlen	in pCt.	Absolute Zahlen	in pCt.
Abnahme	25	61	10	53	20	74
Gleichbleiben	5	12	6	31	2	7
Zunahme	11	27	3	16	5	19
Summa	41	—	19	—	27	—
			87			

Die zweite dieser kleinen Tabellen belehrt uns über den Einfluss, welchen die durch den Marsch bewirkte Ermüdung an und für sich auf die Maximalleistung der Athemmusculatur

hat. Es dürfte überraschen, dass nicht ganz selten die Leistungsfähigkeit nach dem Marsch eine bessere ist als vorher. Dieses scheinbare Paradoxon erklärt sich wohl befriedigend aus der bekannten Thatsache, dass stärkere Füllungen des Darmes mit festem oder gasigem Inhalt die maximale Ausdehnung der Lungen beschränken. Solche Hindernisse schwinden oft im Laufe des Marsches. Dazu kommt wohl noch der Umstand, dass frühmorgens manchmal noch eine gewisse Schlaffheit bestand, während wenig anstrengende Märsche die Willensenergie steigern. Wenn wir zu diesen Erwägungen noch hinzufügen, dass bei mehreren Märschen der Gruppe I übermässige Hitze trotz des leichteren Gepäcks erschlaffend wirkte, verstehen wir, weshalb die Wirkung der stärkeren Belastung sich nicht deutlicher ausprägte. Immerhin ist unverkennbar, dass ein Marsch von 24 km um so mehr, je stärker die Belastung ist, auch auf die Athemmusculatur erschöpfend wirkt.

Diese Erschöpfung muss natürlich deutlicher hervortreten, wenn die Muskulatur gegen grössere Widerstände anzukämpfen hat. Daher sehen wir bei der Prüfung der Vitalcapacität mit Gepäck die Abnahme derselben häufiger, eine Zunahme nur noch in sehr wenigen Fällen.

Wir dürfen uns aber mit dieser statistischen Abwägung der Fälle nicht begnügen, müssen vielmehr auch die Grösse der Aenderung in den einzelnen Fällen in Betracht ziehen. Auch hierüber orientiren wir uns zunächst durch Betrachtung der Zusammenstellung in Tabelle I des Anhangs. Dabei treten uns unverkennbar individuelle Unterschiede in der Ermüdbarkeit des Athemapparates entgegen. Bei Herrn B. ist in 9 von 22 Märschen die ohne Belastung gemessene Vitalcapacität am Schlusse völlig ungeändert, unter den übrigen 13 Beobachtungen haben wir 8 Abnahmen und 5 Zunahmen; die grössten vorkommenden Schwankungen übersteigen nicht 200 ccm. Auch bei der Prüfung im belasteten Zustande tritt die grosse Gleichmässigkeit der Leistung und die geringe Ermüdbarkeit der Athemmusculatur dieses Herrn unverkennbar hervor, wenn auch die Schwankungen grösser sind als im unbelasteten Zustande und eine Abnahme am Schlusse des Marsches das Häufigere ist.

Viel stärker weichen schon bei Herrn P. die Messungen der einzelnen Tage von einander ab, aber auch bei ihm ist der Fall einer grösseren Leistung am Schlusse des Marsches

recht häufig. Das ganz excessive Sinken der Vitalcapacität im belasteten Zustande am Ende des 10. Marsches (um 800 ccm) beruht darauf, dass P. hier zum ersten Male mit vollem Gepäck seine Vitalcapacität maass und dabei eine ungeschickte Körperhaltung einnahm, so dass diese Messung eigentlich ausgeschaltet werden muss. Später lernte gerade Herr P. den Einfluss des Gepäcks so vollkommen überwinden, dass er der einzige ist, bei welchem das Mittel der Ruheversuche ohne und mit Gepäck identisch ist. Diese Erscheinung findet ihre Begründung in dem gedrungenen und besonders muskelkräftigen Körperbau des Herrn P. Schon in der Einleitung bei Besprechung der Veränderungen des allgemeinen Körperverhaltens durch die Marschirarbeit konnten wir hervorheben, wie sowohl die Palpation und Messung mit dem Bandmaass, als auch der Augenschein uns lehrte, dass gerade bei Herrn P. das im Anfang ziemlich stark entwickelt gewesene Fettpolster einer kräftig sich herausarbeitenden Muskulatur Platz gemacht hatte, so dass Herr P. nach Beendigung der Marschversuche als der kräftigste unserer Marschirer erschien.

Bei den 3 anderen Herren stehen schon bei der Messung ohne Gepäck wenige geringe Zunahmen der Vitalcapacität nach dem Marsche den viel erheblicheren und häufigeren Abnahmen gegenüber; bei der Messung mit Gepäck kommen solche Zunahmen mit Ausnahme eines einzigen Falles (Marsch 26 bei Herrn F.) überhaupt nicht zur Beobachtung.

Die individuellen Besonderheiten treten auch bei der Zusammenfassung der Mittelwerthe für die 3 von uns aufgestellten Marschgruppen in der Tabelle auf folg. Seite deutlich hervor. Die Schädigung durch schwere Belastung tritt bei der Prüfung mit Gepäck (Spalte 1 und 2) bei Herrn P. garnicht, bei B. deutlicher, bei den anderen Herren und ebenso im Gesammtmittel sehr deutlich zu Tage.

Fassen wir nun weiter das Gesammtmittel und zwar der Spalte 1 und 3 ins Auge, so sehen wir, dass der unbelastete Brustkorb nach Märschen der Gruppe I statt 3436 ccm nur noch 3330 ccm Athemluft aufzunehmen im Stande ist; trotz der nicht mehr als 22 kg betragenden Last bewirkt wohl das Ungewohnte hauptsächlich der ersten 8 Märsche, welche in diese Gruppe gehören, den Ausfall. Bald aber gewöhnen sich die jungen kräftigen Leute an das Marschiren mit Gepäck, so dass die bekannte wohlthuende und „die

Mittel der Vitalcapacität

	B.				P.				C.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	mit Gepäck	Unterschied v. d. Ruhe	ohne Gepäck	Unterschied v. d. Ruhe	mit Gepäck	Unterschied v. d. Ruhe	ohne Gepäck	Unterschied v. d. Ruhe	mit Gepäck	Unterschied v. d. Ruhe	ohne Gepäck	Unterschied v. d. Ruhe
Gruppe I	2700	—400	3106	+ 6	3350	— 50	3230	—170	2950	—150	2950	—150
Gruppe II	2783	—317	3060	—40	3050	—350	3370	— 30	2970	—130	3200	+100
Gruppe III	2671	—429	3117	+17	3483	+ 83	3523	+123	2643	—457	2840	—260
Ruhemittel	2800	—	3100	—	3400	—	3400	—	3000	—	3100	—

Brust ausweitende“ Wirkung körperlicher Uebung sich geltend macht. Nach den Märschen der Gruppe II kann der unbelastete Thorax nicht etwa weniger, sondern sogar 19 ccm Luft mehr aufnehmen, als zu Zeiten der Ruhe. Indess die starke Anstrengung der schweren Märsche (Gruppe III) drückt diesen Gewinn wieder um 40 ccm unter den Ruhewerth herab; doch ist gegen die Einübungsmärsche auch jetzt noch eine um 66 ccm stärkere Ausdehnung der vom Gepäck befreiten Brust nach Vollbringung der Marschirarbeit möglich.

Indess wird dies Bild ein ganz anderes, wenn wir die Untersuchung der Vitalcapacität gleich nach dem Einrücken in feldmarschmässigem Anzug vornehmen (Spalte 1 u. 2). Schon die leichten Märsche zeigen, trotzdem die ersten acht Uebungsmärsche hier nicht mitgemessen sind, einen Ausfall von 299 ccm, welcher sich bei den mittelschweren auf 379 ccm und bei den schweren auf 435 ccm steigert.

Bei den einzelnen Herren weichen, wie schon erwähnt, die für diese Werthe der drei Gruppen gewonnenen Mittel von dem Gesammtmittel etwas ab.

Dem eben entwickelten Durchschnittsverhältniss entsprechen die Zahlen für Herrn F., auch noch diejenigen für Herrn S. und Herrn C. am vollkommensten, während bei Herrn P. und B. selbst bei Prüfung im belasteten Zustande die Wirkung der Märsche nicht sehr erheblich ist.

Am reinsten tritt die Behinderung des Athmens durch

nach dem Marsch.

S.				F.				Gesammtmittel			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
mit Gepäck	Unterschied v. d. Ruhe	ohne Gepäck	Unterschied v. d. Ruhe	mit Gepäck	Unterschied v. d. Ruhe	ohne Gepäck	Unterschied v. d. Ruhe	mit Gepäck	Unterschied v. d. Ruhe	ohne Gepäck	Unterschied v. d. Ruhe
2733	—547	3177	—103	3950	—350	4187	—113	3137	—299	3330	—106
2700	—580	3370	+ 90	3780	—520	4275	— 25	3057	—379	3455	+ 19
2587	—693	3021	—259	3621	—679	4225	— 75	3001	—435	3396	— 40
3000	—	3280	—	3900	—	4300	—	3220	—	3436	—

das Gepäck hervor, wenn wir im ausgeruhten Zustande die Vitalcapacität mit und ohne Gepäck messen.

Die Mittelwerthe aller dieser Messungen sind:

	Vitalcapacität	
	ohne Gepäck	mit Gepäck
B.	3100	2800
P.	3400	3400
C.	3100	3000
S.	3280	3000
F.	4300	3900
Mittel	**3436**	**3220**

Ausser bei P. vermindert demnach das Gepäck die Vitalcapacität um 100—400 ccm, im Mittel um 216 ccm. Die sehr viel erheblichere Verminderung am Schlusse namentlich der schwer belasteten Märsche zeigt, dass diese Märsche eine nicht unerhebliche Erschöpfung der Athemmuskulatur bewirkt haben. Während diese Muskulatur den unbelasteten Thorax am Schlusse der Märsche nur wenig unvollkommener ausdehnt, als im ausgeruhten Zustande, vermag sie diese Leistung bei Belastung mit Gepäck nicht mehr zu vollbringen.

Nochmals seien die grossen individuellen Unterschiede in der Erschöpfbarkeit des Athemapparates hervorgehoben: Während wir bei P. überhaupt keine messbaren Zeichen von Ermüdung haben, beträgt bei F. das Absinken gegen den Ruhewerth ohne Gepäck 679 ccm, bei S. gar 693 ccm, d. h. über 21 pCt. der ganzen Lungenfüllung.

Da nun bei körperlichen Anstrengungen normaler Weise nicht zu häufig, aber recht tief geathmet werden muss, erscheint eine solche Abnahme um $^1/_5$ schon als recht erhebliche Schädigung der Leistungsfähigkeit. Wir haben dafür auch noch weitere objective Beweise in den gerade bei S. und F. fast regelmässig am Schlusse der Märsche mit schwerem Gepäck beobachteten Dilatationen des Herzens, die wir schon eingehender erörtert haben.

Die vorstehend besprochenen Messungen der Vitalcapacität haben also unzweifelhaft gelehrt, dass Märsche mit 31,5 kg Belastung bei einem erheblichen Procentsatz kräftiger, leistungsfähiger und trainirter junger Leute eine ernstliche Herabsetzung der Leistungsfähigkeit des Athemapparates bedingen und dass auch bei einer Belastung mit 27 kg eine solche immer noch recht deutlich ist. Es muss noch betont werden, dass im Anfang der Märsche selbst geringe Belastung von 22 kg und darunter fast denselben Effect übte, wie später die hohen Belastungen, dass also eine verhältnissmässig schnelle Steigerung in der Leistung des Athemapparates durch systematische Marschübungen mit langsam sich steigerndem Gepäck bewirkt wird.

Unsere Zahlen geben also einen Beweis für die Richtigkeit der Regel, bei eingezogenen Reservisten oder gar Landwehrleuten in der ersten Zeit lange Märsche mit schwerem Gepäck möglichst zu vermeiden.

Auch durch häufig wiederholte Zählung der Athemzüge suchten wir einen Einfluss der Marschleistung auf die Athmung ans Tageslicht zu bringen. Nicht nur vor Beginn des Marsches, sondern mehrmals während desselben, namentlich kurz vor und nach einem Halt, und unmittelbar nach dem Einrücken wurde die Zählung vorgenommen. Die Herren lernten sehr bald, die Respirationen selbst zu zählen und den Einfluss des Willens dabei auszuschalten; wir liessen deshalb mit sehr gutem Erfolg während des Marschirens jeden Herrn selbst die Zahl der Athemzüge feststellen. Dies geschah stets an derselben Stelle des nur zu bekannten Weges, also

stets nach gleicher Marschleistung. Gelegentlich wurde zur Controle die Athmung durch einen Anderen beobachtet: Es wurde dann ein Respirationsröhrchen in ein Nasenloch eingeführt (ein Glasröhrchen mit darin befindlicher, durch die hindurchstreichende Athmungsluft bewegter Zunge aus Goldschlägerhäutchen) zur Sichtbarmachung der Athembewegungen.

Vor Allem lag uns neben der Feststellung der höchsten an dem betreffenden Tage erreichten Respirationszahl daran, zu erfahren, ob nach einem 10 oder 30 Minuten dauernden Halt die Athmung wieder zur Norm zurückkehrte. Die Tabelle 2 des Anhanges giebt die von jedem Herrn täglich beobachteten Athmungsziffern wieder. Schon ein Blick auf diese Tabelle lehrt uns einmal, wie z. B. bei Herrn B. und P. der Beginn der stark belasteten Märsche (vom 15. ab) sich durch ein Emporsteigen der Athmungsziffer anzeigt, wie ferner einzelne Herren, C. und S., ganz besonders stark mit hoher Frequenz auf selbst mittelschwere Marschleistungen reagiren; die Zahl 30 in der Minute wurde bei diesen beiden Herren nur in wenigen Marschprotocollen vermisst.

Vergleichen wir die höchsten Respirationszahlen nun mit den Curven der Tafel I, so fällt zunächst ein gewisser Parallelismus mit der Stauungscurve (Verbreiterung des Herzens und der Leber) in die Augen; namentlich gilt dies für Herrn S.

Ueber die durchschnittliche Höhe der erreichten Respirationszahl giebt nun die Tabelle auf folg. Seite Auskunft, in welcher für jeden Herrn die Mittel für die leichten, mittelschweren und schweren Märsche (Gruppe I, II und III) neben den Ruhewerthen und den Mitteln der Athmungsziffer nach dem Halt verzeichnet stehen. Bei Gruppe I sind nur die 3 letzten Märsche verwerthet.

Es zeigt sich in dieser Zahlenzusammenstellung, dass — wie wir schon aus der Tabelle 2 erkennen konnten — Herr C., S. und auch Herr F., viel stärker auf körperliche Anstrengung mit hoher Athmungszahl antworten als die beiden Herren B. und P. Auch der Einfluss der verschieden hohen Belastung findet ziffernmässigen Ausdruck. Dabei ist allerdings die hohe procentische Zunahme der Respirationen bei Gruppe I auffallend; dieser Zuwachs wird indess leicht verständlich, wenn man in Erwägung zieht, dass die 3 Märsche, welche in dieser Gruppe verwerthet wurden,

	B.				P.			
	Höchste Athmungszahl		Athmungszahl nach dem Halt		Höchste Athmungszahl		Athmungszahl nach dem Halt	
	absolutes Mittel	Zunahme gegen die Ruhe	absolutes Mittel	Zunahme gegen die Ruhe	absolutes Mittel	Zunahme gegen die Ruhe	absolutes Mittel	Zunahme gegen die Ruhe
		in pCt.		in pCt.		in pCt.		in pCt.
Gruppe I	19	18	16,6	3	20,3	56	18,1	39
Gruppe II	22,9	39	17,5	9	20,25	56	15.5	19
Gruppe III	24,9	55	18,2	14	22,4	72	16,6	28
Ruhemittel	16				13			

durch tropische Hitze besonders erschwert wurden. Dagegen erhöhen sich die Athmungszahlen bei Vermehrung des Gepäcks um nur 4 kg (Gruppe II gegen Gruppe III) um 12 bis 16 pCt. Die höchsten absoluten Ziffern erreichte Herr S. mit durchschnittlich 29 und Herr C. mit durchschnittlich 30,1 und 32,5 Athemzügen in der Minute. Dass bei letzterem das häufige Wundlaufen zum Zustandekommen dieser hohen Werthe beigetragen haben mag, erscheint nicht unwahrscheinlich. Dafür stimmt auch die Thatsache, dass bei Herrn C. nach einem Halt die Athembewegungen bald wieder langsamer wurden (später nur 16 pCt. Vermehrung gegen die Ruhe), während für Herrn S., bei welchem die Schnelligkeit der Athmung mehr mit Stauungserscheinungen Hand in Hand zu gehen schien, die Ruhe eines 10 oder selbst 30 Minuten währenden Halts die Zahl der Respirationen doch nicht unter eine Höhe herabsinken liess, welche die Athmung der Ruhe immer noch um 40 pCt. übertraf. Die Haltepunkte beruhigten besonders bei Herrn B. die vermehrte Respiration (3, 9, 14 pCt.), während doch bei allen Herren die verlangsamte Rückkehr der Athmung zur Norm, welche eine Folge des um 4 kg schwereren Gepäcks ist, durch die höheren Procentzahlen in Gruppe III gegenüber Gruppe II vor Augen geführt wird. Für die hohen Werthe der Gruppe I gilt der kurz vorher schon erwähnte Grund.

Nach diesen Erörterungen und dem Vergleich der Re-

C.				S.				F.			
Höchste Athmungszahl		Athmungszahl nach dem Halt		Höchste Athmungszahl		Athmungszahl nach dem Halt		Höchste Athmungszahl		Athmungszahl nach dem Halt	
absolutes Mittel	Zunahme gegen die Ruhe	absolutes Mittel	Zunahme gegen die Ruhe	absolutes Mittel	Zunahme gegen die Ruhe	absolutes Mittel	Zunahme gegen die Ruhe	absolutes Mittel	Zunahme gegen die Ruhe	absolutes Mittel	Zunahme gegen die Ruhe
	in pCt.		in pCt.		in pCt.		in pCt.		in pCt.		in pCt.
32,5	103	22,5	37	29,3	83	21,6	35	24	85	19	46
28,1	76	—	—	26,9	68	20,5	25	22,4	72	16,5	27
30,1	88	18,6	16	29,1	82	22,4	40	24,4	88	18,4	42
16				16				13			

sultate derselben mit dem beobachteten allgemeinen Erschlaffungszustand der Marschirenden erscheint uns eine Athmungszahl von über 28 — oder besser und genauer 75 pCt. Zuwachs — sowie eine Athemfrequenz nach einem viertelstündigen Halt, welche das Ruhemittel dann noch um 30 pCt. übersteigt, als Grenze dessen, was von dem mittelkräftigen Soldaten ohne Schädigung ertragen werden kann.

Derartige Steigerungen beobachteten wir im Wesentlichen nur bei den Herren C.. S. und F., von welchen namentlich die beiden letzteren auch schon bei den Prüfungen der Vitalcapacität sich als weniger kräftig in Bezug auf den Athemapparat erwiesen hatten. Die Zählung der Athemfrequenz erscheint uns wegen der Bequemlichkeit ihrer Ausführung namentlich bei einem Halt besonders geeignet zur objectiven Prüfung des Ermüdungsgrades marschirender Soldaten.

Die später zu besprechenden quantitativen Messungen der Athmung bei den Herren B. und P. gaben uns Gelegenheit, die Athemfrequenz an dem mit jeder Exspiration vorrückenden Zeiger des Gasmessers zu controliren. Hierbei erhielten wir Zahlen, welche mit den von den Herren selbst auf den Märschen notirten befriedigend übereinstimmen. So ergaben die drei letzten Märsche mit leichtem Gepäck bei grosser Hitze folgende Frequenzzahlen für Herrn P:

Vor dem Ausrücken 18,5 pro Minute,
Nach der Rückkehr 18,3 „ „

Die Zählungen auf dem Marsche selbst hatten als höchste Frequenz im Mittel 20,3 ergeben; die an sich geringe Differenz erklärt sich vollkommen dadurch, dass auf dem Marsche draussen ein schnelleres Tempo innegehalten wurde, als auf der Tretbahn bei den Respirationsversuchen. Nebenbei geht aus obigen und allen unseren anderen bei den Respirationsversuchen ausgeführten Zählungen hervor, dass die Ermüdung bei Herrn P. nie zu einer erheblichen Aenderung der Athemmechanik führte. Nach den Märschen mit schwerstem Gepäck war die Frequenz nach der Rückkehr manchmal unverändert, einmal sogar niedriger, meist aber um 1—3 Athemzüge grösser als beim Respirationsversuche im Anfang. Von abnorm frequenter flacher Athmung, wie man sie als Ausdruck hochgradiger Ermüdung beobachtet, war bei Herrn P. nie etwas zu bemerken, ganz entsprechend der ungeschwächten Muskelkraft, welche wir aus den Messungen der Vitalcapacität erschlossen hatten.

Die gute Uebereinstimmung der Athemfrequenz draussen und beim Marschiren auf dem Tretwerk, wobei mit verschlossener Nase durch ein Mundstück mit Ventilen geathmet und die Exspirationsluft durch den Gasmesser getrieben wurde, beweist auch, dass diese Vorrichtung zum Messen der Athmung keine Störung der normalen Athemmechanik herbeiführt. Wissen wir doch aus zahllosen Versuchen an Menschen und Thieren, dass jedes mechanische Hinderniss die Athemfrequenz ändert, in der Regel dieselbe herabsetzt. — Die Einwirkung der Märsche auf die geathmete Luftmenge (Lungenventilation) werden wir im Anschluss an die Messung des respiratorischen Stoffwechsels später besprechen.

e) Körperwärme.

Seitdem sich die Ansicht Bahn gebrochen hat, dass der Hitzschlag durch die Einwirkung einer Art Wärmestauung auf Herz und Centralnervensystem verursacht wird, haben die Militärärzte ihr ganz besonderes Augenmerk auf das Verhalten der Körperwärme beim Soldaten namentlich auf dem Marsche gerichtet. Besonders Hiller hat im Jahrgang 1885 der deutschen militärärztlichen Zeitschrift eine mit grossem Scharfsinn und Fleiss durchgeführte Studie über diesen Gegenstand veröffentlicht. Die Messung geschah damals in der Achselhöhle oder im After. Diese Methoden waren für uns

aus zwei Gründen nicht recht brauchbar, einmal weil sie zu viel Zeit beanspruchten, dann aber besonders weil sie mit einer die Körperwärme mehr oder weniger beeinflussenden Entblössung einhergingen. Wir brauchten eine Methode der Temperaturmessung, welche sich in ganz wenigen Minuten und ohne Aenderung an der Kleidung und dem Gepäck bewerkstelligen liess. Wir glaubten, eine solche in der Messung unter der Zunge mit Minutenthermometern zu besitzen, zumal der Eine von uns (S.) im Verein mit Herrn Oberstabsarzt Sellerbeck bei einer anderen Versuchsreihe[1]) Gelegenheit hatte, die Zuverlässigkeit der Methode zu erproben. Doch auch diese Art der Messung dauerte noch zu lange und so entschlossen wir uns, vom 8. Marsch ab, die Körperwärme durch Messung im Harnstrahl festzustellen. Wir benutzten dazu besonders beschaffte Minuten-Maximalthermometer mit breitem Bassin; jedes einzelne derselben hatten wir von der physikalisch-technischen Reichsanstalt prüfen lassen.

Die Temperatur des Harnstrahls liegt nach Landois bei 37,03, nach unseren Erfahrungen (etwa 90 Ruheversuche) zwischen 36,9 und 37,0, ungefähr zwei bis fünf Zehntel höher als unter der Zunge, für welche Landois allerdings 37,19 notirt. Wir gingen an diese bisher nicht allzu häufig angewendete Methode der Temperaturmessung nicht heran, ohne uns von ihrer Zuverlässigkeit durch physikalische sowie durch Versuche am Menschen überzeugt zu haben, obschon uns die Angabe von Oertmann[2]) bekannt war, dass, „wenn man den Harnstrahl auf die kleine Kugel eines empfindlichen Thermometers wirken lässt, dieses schon nach 7 Secunden die Körperwärme richtig anzeigt“. Zur physikalischen Prüfung der Methode füllten wir einen Heisswassertrichter, wie ihn die Bakteriologen zur Herstellung der Nährgelatine verwenden, mit warmem, durch den Warmwassermantel in seiner Temperatur möglichst constant erhaltenem Wasser, dessen Wärme wir an einem durch einen Holzdeckel bis in die Nähe der Ausflussöffnung hineinragenden Thermometer ablesen konnten.

Die Ausflussöffnung des Trichters war durch einen von einer kurzen Glasröhre durchbohrten Kork verschlossen; an dem äusseren Ende dieser Glasröhre befand sich ein kurzer

---

[1]) Militärärztl. Zeitschr. 12. 1894.

[2]) Ernst Oertmann, Eine einfache Methode zur Messung der Körpertemperatur. Pflüger's Arch. 16. S. 101.

Gummischlauch mit einem leicht schliessbaren Quetschhahn. Dieser Apparat stellte die Harnblase und die Harnröhre vor. Oeffnete man den Quetschhahn, so floss das Wasser aus der künstlichen Harnblase mit einer uns bekannten Temperatur ab. Hielten wir nun in diesen Wasserstrahl das Bassin unseres Versuchsthermometers, so konnten wir ohne Weiteres erkennen, wie weit die Leistung der Methode reichte, vor Allem, wie gross das bespülende Wasserquantum zum Mindesten sein musste, um das Thermometer bis zur Temperatur des Heisswassertrichters zu erwärmen. Dass dies nie vollständig zu erreichen war wegen der Abkühlung beim Durchströmen durch Glasrohr und Schlauch, ist ohne Weiteres klar.

Bei der ersten Versuchsreihe, deren Resultate hier folgen, wurde das Bassin des Thermometers etwa 3—4 cm von der Ausflussöffnung entfernt gehalten.

Wasserwärme im Trichter	Menge des ausströmenden Wassers	Temperatur
1	2	3
41,5	40 ccm	37,8
41,5	80 „	39,3
41,5	140 „	39,6
41,5	235 „	39,9
43,0	60 „	39,5
43,0	120 „	40,2
39,6	92 „	39,4
40,0	60 „	39,4
41,0	90 „	40,3
41,5	60 „	41,2

Die Differenzen zwischen Spalte 1 und 3 sind, wie man sieht, noch recht erhebliche. Doch verringern sie sich bedeutend, wenn wir einmal die Temperatur des Trichterwassers etwas niedriger wählen und zweitens das Thermometerbassin höchstens 1 cm von der Ausflussöffnung entfernt halten. Eine so ausgeführte Versuchsreihe ergab folgende Resultate (siehe die Tabelle auf folg. Seite):

Diese Zahlen lassen den Schluss zu, dass bei nur gering erhöhter Innentemperatur 60—80 ccm Urin genügen, um die Temperatur des Thermometers auf annähernd (bis auf 2 Zehntel) die gleiche Wärme zu bringen; bei höheren Temperaturen bleibt eine grössere Differenz (bis 8 Zehntel)

Wasserwärme im Trichter	Menge des ausströmenden Wassers	Temperatur
1	2	3
37,2	60 ccm	37,2
37,6	77 „	37,4
38,2	62 „	38,0
38,2	65 „	38,2
38.0	65 „	37.8
38.0	78 „	38,0
38.0	77 „	38.0
40.6	66 „	40,1
40,8	65 „	40.5
40,9	54 „	40,5
40,9	26 „	40.1

bestehen. Da die blutdurchströmte menschliche Harnröhre nicht einen solchen Wärmeverlust, wie die wenn auch kurze Glasröhre unseres Experiments, zulässt, so fällt beim Menschen diese Fehlerquelle noch fort und man darf deshalb genaue thermometrische Resultate aus der Messung der Körperwärme im Harnstrahl erwarten.

Mehrere Vorversuche am Menschen bestätigten diese Erwartung; wir möchten 2 derselben anführen. Es wurden einem Individuum zur selben Zeit ein Thermometer in die Achselhöhle, eines in die Mundhöhle unter die Zunge und ein drittes in den Mastdarm eingeführt; kurz vorher und nach Beendigung der Messung liess er Urin, dessen Wärme gleichfalls bestimmt wurde. Dabei ergab sich nun Folgendes:

In 120 ccm Harn war die Temperatur				36,6°
„ der Mundhöhle nach	1	Minute		36,0°
„ „ „ „	2	„		36,4°
„ „ „ „	3	„		36,6°
„ „ Achselhöhle „	2	„		36,0°
Im Mastdarm „	1	„		37,0°
„ „ „	2	„		37,4°
„ „ „	3	„		37,4°
„ Harnstrahl darauf (in 100 ccm)				36,8°

Bei einem zweiten ähnlichen Versuch war die Temperatur

in 150 ccm Urin				37,0°
im Mastdarm nach	2	Minuten . .		37,7°
in der Achselhöhle nach	2	Minuten		36,0°
„ „ „ „	3	„		36,1°

Da also unsere Erfahrungen aus derartigen Versuchen diejenigen Oertmann's bestätigten, dass nämlich die momentane Messung im Harnstrahl ein ebenso sicheres Resultat herbeiführt, wie die 6—8mal so viel Zeit in Anspruch nehmende Wärmebestimmung in der Mund- und Achselhöhle oder im Mastdarm, glaubten wir uns bei unseren Märschen mit Vortheil dieser Methode bedienen zu sollen. Dies ist dann auch vom 8. Marsch ab geschehen.

Die Messungen wurden bei jedem Marsch vor dem Ausrücken, im Beginn der halbstündigen Ruhepause sowie unmittelbar nach der Heimkehr ausgeführt. Im Ganzen stehen uns 313 Messungen an Marschtagen und 87 an Ruhetagen zu Gebote.

Aus den im Marschprotocollbuch verzeichneten Zahlen dieser Messungen, welche in der nachstehenden Tabelle übersichtlich geordnet sind, erhellt sofort eine Thatsache, dass nämlich im Gegensatz zu anderen Untersuchern (Obernier, Hiller), die selbst nach nur 7—8 km langen Märschen schon Temperaturen von 39,3—39,9 bei Messung im After beobachteten, bei unseren Herren die Eigenwärme bei Wegstrecken von 15—21 km, bei Belastung bis 22 kg und angenehmem Marschwetter meist nur wenige Zehntel über 37° im Harnstrahl betrug, ausnahmsweise 37,6° und 37,7°.

Dagegen trieb, wie wir schon in unserem vorläufigen Bericht hervorheben konnten, eine Belastung von 27 kg bei sonst ähnlichen Marschbedingungen die Temperatur schon recht häufig auf 37,9° und 38°, eine Belastung von 31 kg bei 25 km Weglänge auf 38° und darüber bis 38,9°, ausnahmsweise auf 39,9°, gleiche meteorologische Verhältnisse vorausgesetzt. Interessant ist die Beobachtung, dass schweres Gepäck (31 kg) bei günstigem Marschwetter ungefähr die gleiche Temperatursteigerung (38°—39,7°) bewirkt, wie leichte Belastung (22 kg) bei tropischer Hitze. Da bei Temperaturen von 39,7° die Gesichter der Marschirenden hochroth, cyanotisch, der Blick oft theilnahmlos erschien, so dürfte man diese Zahlen als Grenzwerthe des Zulässigen zunächst festhalten.

Um nun den Einfluss grösseren oder geringeren Gepäcks genauer und zahlenmässig zu erhalten, müssen wir wieder die bei jedem Marsch höchste gewonnene Temperatur in unser Gruppenschema bringen, bei welchem auf Märschen der Gruppe I nicht mehr als 22 kg, der Gruppe II nicht mehr als 27 kg und der Gruppe III nicht mehr als 31 kg Last

Temperatur an Marschtagen.

atum	No. des Marsches	B.			P.			C.			S.			F.		
). 4.	1	36,4	—	36,5	36,7	—	36,9	36,1	—	36,1	36,8	—	37,0	36,5	—	37,0
). 5.	2	36,5	—	36,5	36,6	—	36,8	35,9	—	36,5	36,3	—	36,8	36,5	—	37,0
). 5.	3	36,4	—	36,5	36,6	—	36,4	—	—	36,3	36,4	—	36,5	36,6	—	36,0
). 5.	4	—	36,5	36,5	—	36,6	36,5	36,5	—	36,6	36,9	—	36,7	36,5	36,8	36,9
). 5.	5	36,5	36,4	36,5	—	36,7	—	36,7	—	36,6	36,6	36,7	37,5	36,7	37,2	37,0
. 5.	6	36,6	—	36,6	36,6	—	—	36,0	36,4	36,4	36,7	—	36,6	37,1	—	37,1
). 5.	7	36,6	36,6	36,8	36,6	36,6	—	36,3	36,6	37,3	37,0	37,1	37,2	36,8	37,0	37,4
). 5.	8	36,6	37,2	37,4	36,7	37,6	—	—	—	—	36,4	37,7	36,9	36,4	37,4	37,5
). 5.	9	37,0	37,5	37,3	—	37,5	37,4	36,5	36,5	37,2	36,7	37,4	37,2	36,9	37,6	37,5
). 5.	10	36,8	37,3	37,6	36,6	37,8	37,4	36,6	—	—	36,7	40,6[1]	37,7	37,2	37,7	37,6
). 5.	11	—	36,8	37,4	—	37,0	37,7	—	36,6	37,9	—	36,4[1]	38,1	—	—	—
). 5.	12	37,0	—	—	36,7	—	37,3	36,6	37,6	37,1	36,9	37,9	38,0	37,0	37,9	37,4
). 5.	13	36,8	37,9	37,6	36,7	38,0	37,6	—	—	—	37,0	37,9	37,5	36,8	37,4	39,2
. 6.	14	37,3	37,9	38,0	36,8	37,6	37,9	36,9	37,4	37,7	37,5	37,7	37,9	37,1	37,9	40,3
. 6.	15	—	—	—	36,7	38,1	38,2	36,8	37,8	38,1	37,0	38,1	38,0	—	—	—
. 6.	16	—	37,8	37,4	—	—	—	—	36,8	37,5	—	37,8	38,0	—	—	—
. 6.	17	—	37,3	37,9	—	—	—	36,7	37,8	38,9	36,7	37,8	37,0	36,7	37,1	37,9
. 6.	18	36,9	37,4	38,0	36,7	38,1	i. M. 37,8	—	—	—	36,5	37,7	i. M. 37,4	36,5	37,7	i. M. 37,2
. 6.	19	36,9	37,9	38,0	37,3	37,9	38,3	—	—	—	37,0	37,9	38,0	37,0	37,9	37,4
. 6.	20	36,9	38,0	38,2	37,4	37,7	37,8	36,9	37,8	38,0	37,4	37,9	38,2	36,8	37,4	38,2
. 6.	21	36,8	37,4	37,5	i. M. 36,3	37,2	37,1	—	—	—	36,9	37,4	37,4	36,4	37,2	37,4
. 6.	22	36,7	37,8	37,5	i. M. 36,8	37,7	37,8	—	—	—	37,3	37,8	38,2	36,6	37,6	37,9
. 6.	23	i. M. 36,5	37,4	37,6	—	37,9	—	36,8	37,5	37,9	36,8	37,4	37,9	37,0	37,2	37,0
. 6.	24	—	—	—	36,7	—	37,8	36,8	38,0	38,9	37,0	37,9	37,9	36,9	37,6	37,7
6.	25	i. M. 36,4	37,8	38,0	—	37,6	—	36,8	38,6	39,9	—	—	—	36,7	37,5	Achse 37,6
7.	26	—	38,2	38,3	—	37,3	38,1	—	38,9	39,7	—	37,9	38,3	—	37,7	38,2
7.	27	—	—	—	—	37,2	—	—	38,5	38,7	—	37,3	38,0	—	37,1	37,1
7.	28	—	37,7	38,2	—	37,9	38,0	—	—	—	—	37,7	37,9	—	37,7	37,7
		Durchschnittliche Temperatur in der Ruhe.														
		i. M. 36,5	i. U. 37,0	—	—	i. M. 36,7	i. U. 36,9	—	i. M. 36,7	i. U. 36,9	—	i. M. 36,7	i. U. 37,1	i. M. 36,7	i. U. 36,9	—

fortbewegt wurden. Die umstehende Zahlenzusammenstellung giebt uns das Resultat dieser Gruppirung in Mitteln.

[1]) Fehlerhafte Messung?

	B.	P.	C.	S.	F.	Temperatur der Luft im Mittel
Gruppe I	37,3	37,2	37,3	37,5	37,4	14,0
Gruppe II. . . .	37,7	37,7	37,6	37,8	38,3	12,5
Gruppe III . . .	37,9	37,9	38,5	38,0	37.8	14,6
Ruhe — Mund .	36,5	36,7	36,7	36,7	36,7	
Mittel im Urin .	**37,0**	**36,9**	**36,9**	**37,1**	**36,9**	

Die ersten 7 Märsche, bei welchen die Körpertemperatur durch Messung im Munde festgestellt wurde, wurden mit einer Correctur derart berücksichtigt, dass bei jedem einzelnen Herren die Differenz zwischen dem Ruhemittel in der Mundhöhle und im Urin dem Werth aus der Messung in der Mundhöhle zugezählt wurde; dadurch wurden diese Temperaturzahlen denjenigen vom 8. Marsch ab gleichwerthig.

Aus der Tabelle geht nun klar hervor, wie mit der Belastung auch die Temperatur des Körpers eine höhere wird, und zwar unabhängig von der Aussentemperatur, deren Mittel für die einzelnen Gruppen in der letzten Spalte der Tabelle angefügt sind. Die einzige Ausnahme bildet in Gruppe II Herr F., bei dem in Folge unregelmässiger Lebensweise (Geburtstagsfeier) am Abend vor Marsch 13 und 14 diese Märsche eine so gewaltige Anstrengung bildeten, dass die Temperatur die höchsten von uns überhaupt beobachteten Werthe von 39,3 und 40,5 erreichte.

f) Nerven und Muskeln.

Haben wir bisher nur den durch die Marschirarbeit veränderten Functionen des Körpers nachgespürt, so suchten wir nun auch denjenigen Alterationen experimentell beizukommen, welche ohne Zweifel auch bei den geistigen Fähigkeiten eines stark durch Märsche angestrengten Individuums vorhanden sind.

Es war nicht ganz einfach, hierfür eine zweckentsprechende Methode zu finden; am geeignetsten erschien uns

schliesslich die Messung der Apperceptionsdauer von Sinneseindrücken.

Nach Wundt[1]) besteht die zunächst sich darbietende Methode darin, dass man an einer zeitmessenden Vorrichtung den Moment, in welchem der Sinneseindruck stattfindet, durch den äusseren Vorgang selbst genau angeben lässt und sodann den Moment, in welchem der Eindruck appercipirt wird, an derselben Vorrichtung registrirt. Dieser ganze Zeitraum ist die „Reactionszeit". Der Vorgang, welcher dieser Zeit entspricht, setzt sich aus folgenden einzelnen Vorgängen zusammen:

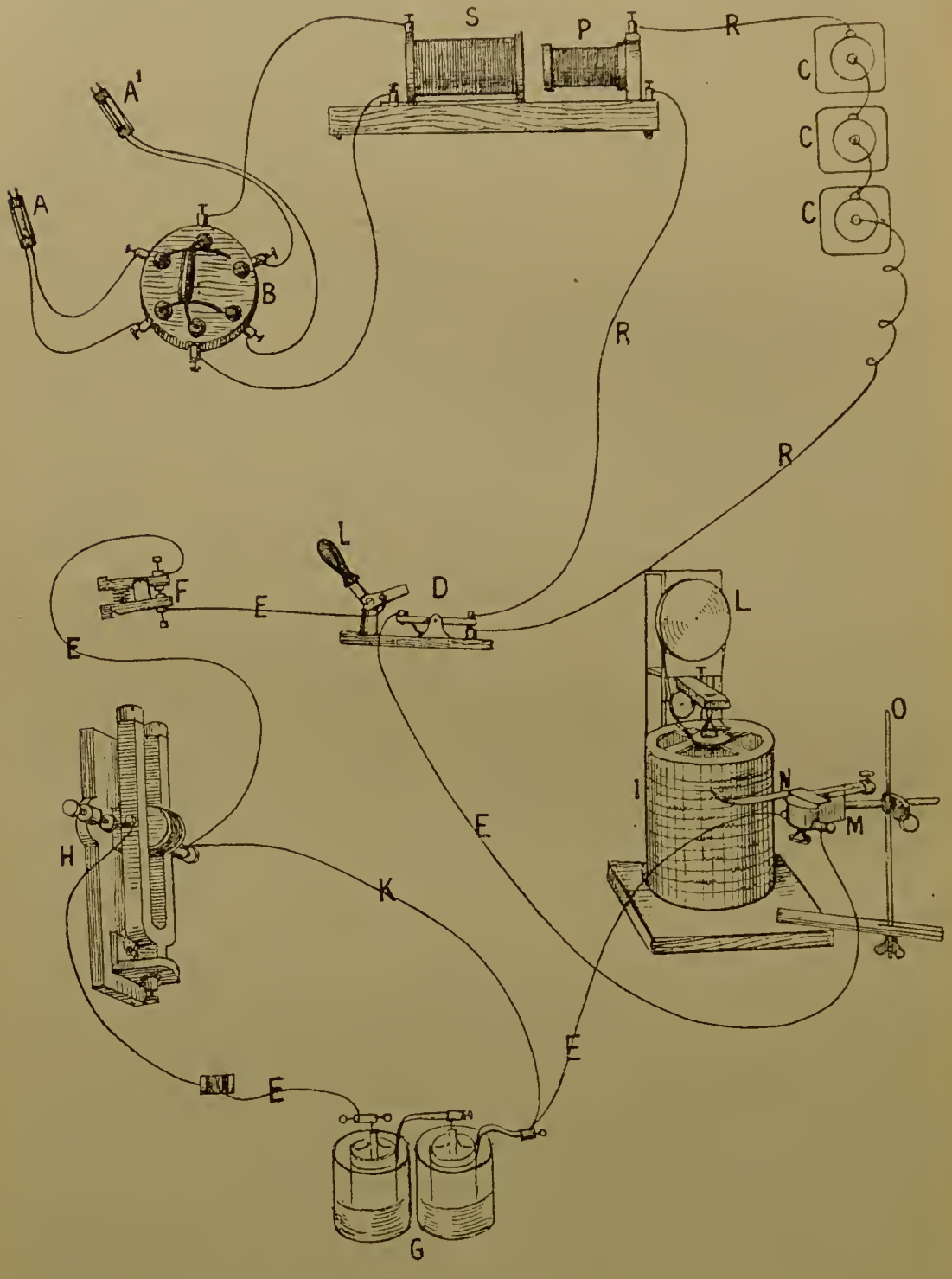
1. Aus der Leitung vom Sinnesorgan bis zum Gehirn,
2. aus dem Eintritt in das Blickfeld des Bewusstseins oder der Perception,
3. aus dem Eintritt in den Blickpunkt der Aufmerksamkeit oder Apperception,
4. aus der Willenserregung, welche im Centralorgane die registrirende Bewegung auslöst, und
5. aus der Leitung der so entstandenen motorischen Erregung bis zu den Muskeln und dem Anwachsen der Energie in denselben.

Uns kam es nun nicht darauf an, einen Theil dieser „psychischen Reaction" zu beobachten, vielmehr lag uns daran, den Ablauf sämmtlicher 5 Vorgänge zusammen zu messen, in Sonderheit kam es uns darauf an, zu erfahren, ob durch die Märsche, vielleicht in Folge der wechselnden Belastung, die Zeitdauer des ganzen Complexes einer Sinnesthätigkeit geändert würde. Wir wählten als Sinneseindruck den elektrischen Hautreiz. Derselbe traf eine Fingerspitze der linken Hand. Genau in diesem Moment begann der Schreibhebel eines leicht beweglichen elektromagnetischen Signalapparates auf einem rotirenden, berussten Cylinder die Bewegungen einer elektromagnetischen Stimmgabel von 100 Schwingungen pro Secunde zu schreiben, so lange, bis ein Druck der rechten Hand den Weg des Stromes zum Signal unterbrach. Die besondere Versuchsanordnung war folgende (siehe die Zeichnung auf folg. Seite):

Der Handreiz erfolgte durch die 1 cm von einander entfernten Elektroden (A) der secundären Rolle (S) eines Du Bois-Reymond'schen Schlitten-Inductoriums, dessen

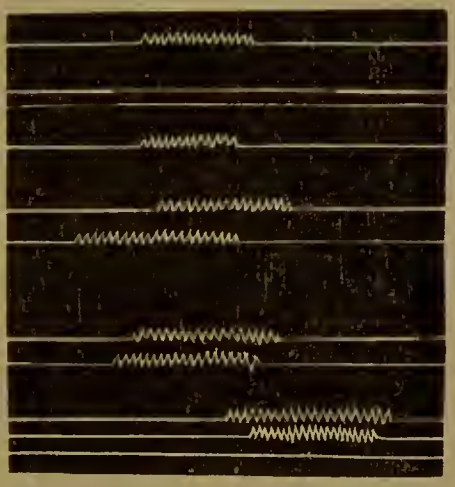
[1]) Grundzüge der physiologischen Psychologie. 1887. II. S. 262.

primäre Rolle (P) von einem Strom R der Elemente C C C durchflossen wurde. Der Handreiz bei A erfolgte, wenn dieser Strom durch Druck des Vorreiberschlüssels L auf die



Helmholtz'sche Wippe D unterbrochen wurde. Durch das Niederdrücken des Vorreiberschlüssels L auf die Wippe D

wurde aber im gleichen Augenblick der Zeichenstrom E E E geschlossen. Derselbe circulirte durch die Bahn E E E E solange, bis ein Druck auf die in der rechten Hand gehaltene Klammer F den Zeichenstrom wieder unterbrach. In diesen Zeichenstrom war die Stimmgabel H eingeschaltet, die beim Ertönen genau 100 Schwingungen in der Secunde machte und durch einen Kurzschluss K nach dem Princip des Wagner'schen Hammers auch dann tönend erhalten wurde, wenn der eigentliche Zeichenstrom E E E geöffnet war. Sobald er aber geschlossen war, so wurde er durch die tönende Stimmgabel 100 Mal in jeder Secunde unterbrochen und ebenso oft wurde der Schreibhebel N (als Anker) von dem 100 Mal in jeder Secunde magnetisch gewordenen Elektromagneten M angezogen. Der Zeichenhebel zeichnete dann auf dem berussten und durch das Uhrwerk L in Rotation versetzten Cylinder J Zickzacklinien, bei denen jede Zacke $= {}^1/_{100}$ Secunde war. Das nachstehende Curvenstück ist ein Beispiel des Aussehens der von dem Schreibhebel gelieferten Zickzacklinie.



Bei dem Versuch hielt nun die Versuchsperson die Elektrode A an eine Fingerspitze der linken Hand und zwischen Daumen und Zeigefinger der rechten Hand die Klemme F. Der Beobachter setzte mittelst des Uhrwerks den Cylinder J in Rotation und legte den an dem Stativ O in horizontaler Richtung verschiebbaren Schreibhebel N an den Cylinder, so dass er in den Russ eine Linie zeichnete, dann drückte er den Schlüssel L nieder. Durch Oeffnung des Reizstroms R erhielt die Versuchsperson an der linken Hand von der secundären Rolle des Inductoriums einen Schlag; sobald sie denselben spürte, öffnete sie mit der rechten Hand den im

Moment des Reizes durch Niederdrücken des Schlüssels L geschlossenen Zeichenstrom, der während seines Bestehens den Zeichenhebel N auf dem berussten Cylinder die Zackenlinie aufschreiben liess. Durch Auszählen der Zacken dieser Linie bekamen wir die Reactionszeiten in hundertstel Secunden ausgedrückt.

Auf diese Weise haben wir bis zum 8. Marsch die Reactionszeiten bei jedem der 5 Herren vor und nach jedem Marsch festzustellen gesucht. Indess war diese Versuchsanordnung noch nicht ganz einwandsfrei. Nach Wundt[1]) unterscheidet man vollständige und verkürzte Reactionszeiten. Bei den ersteren wickelt sich die Thätigkeit in der oben geschilderten Fünftheilung ab, bei der verkürzten, oft nur halb so lange Zeit währenden Reactionszeit aber ist der Process der Apperception wahrscheinlich ganz eliminirt, ausserdem aber fallen muthmaasslich die Acte der Perception und des Bewegungsimpulses zeitlich zusammen, weil der letztere nicht mehr vom Willen ausgeht, sondern, sobald der Eindruck erfolgt, reflexartig ausgelöst wird.

Uns kam es aber darauf an, dass der Vorgang in der Nervenbahn sich nicht gelegentlich reflexartig abspielte, wir erstrebten eine vollständige Abwickelung jener 5 Phasen. Man kann dies erreichen, indem man den Weg, den der Reiz für gewöhnlich nimmt, gelegentlich ändert, indem wir beispielsweise bald die Fingerkuppe, bald die Stirn mit dem elektrischen Schlage treffen. Zu diesem Zwecke fügten wir in den Reizstrom einen Stromwender in Form einer Pohl'schen Wippe ohne Kreuz (B) mit einem Paar Elektroden für die Fingerspitze (A) und einem zweiten Paar (A_1) für die Stirn.

So haben wir vom 9.—13. Marsch gearbeitet, indem der Reiz in unregelmässiger Weise bald den Finger, bald die Stirn traf. Indess gewöhnten sich die Versuchspersonen auch bei dieser Anordnung daran, bei jedem Reiz, gleichviel, woher er kam, die Muskelbewegung der rechten Hand auszulösen. Wir gelangten meist wieder zur verkürzten, reflectorischen Reactionszeit. Wir sannen auf neue Mittel, unbedingt nur vollständige Reactionszeiten zu erhalten. Zu diesem Ziele zu kommen, schoben wir in den fünftheiligen Sinnesakt, bevor der Willensimpuls ausgelöst wurde, noch eine Art Urtheilsakt ein. Die Versuchsperson wurde angewiesen, nur dann zu

---

[1]) l. c. S. 265.

reagiren, wenn der Reiz entweder von der Stirn oder von der Hand ausging; bald war die Stirn, bald war die Hand, je nach der Angabe des Beobachters, gültige Reactionsstelle. Der Schreibhebel lag dem Cylinder nur an, wenn der Beobachter den Reiz durch entsprechende Umlegung des Stromwenders) an der gültigen Stelle eintreten liess, im anderen Falle wurde er davon entfernt. Reagirte die Versuchsperson auf einen Reiz von ungültiger Stelle, so wurde dies als Fehlreaction im Protokoll vermerkt.

Auf diese Weise waren wir sicher, dass alle 5 Akte der Reaction nach einander vor sich gingen, dass wir nur vollständige Reactionen bekamen, keine einfachen Reflexe.

Diese Versuchsanordnung haben wir vom 14. Marsch an beibehalten. Es lassen sich deshalb auch nur die letzten 14 Märsche mit einander vergleichen, obschon manches Lehrreiche auch in den in der ersten Hälfte gewonnenen Zahlen steckt.

Im Ganzen wurden in dieser Art 98 psychische Reactionen in der Ruhe protokollirt und 220 an Marschtagen, deren jede sich etwa aus 30 Einzelreizungen combinirt.

Bei den 3 verschiedenen, oben genau beschriebenen Versuchsanordnungen brauchten die 5 Herren für die Abwickelung der gesammten, durch den elektrischen Reiz ausgelösten Sinnesthätigkeit an Zeit, ausgedrückt in hundertstel Secunden in der Ruhe im Mittel aller Messungen:

Bei	B.	P.	C.	S.	F.
Handreiz	14	15	22	18	24
Stirn- und Handreiz . .	14	16	23	19	22
Stirn- oder Handreiz . .	26 (1)	26 (1)	27	22 (1)	30

Die Zahlen in Klammern bedeuten die beobachteten Fehlreactionen. Hiernach wird also die Reactionszeit in der Ruhe bei der zweiten und dritten Versuchsanordnung länger, was ja nicht verwunderlich ist, da einmal gegenüber dem einfachen Handreiz die Aufmerksamkeit zwischen zwei möglichen Wegen der Sinnesreizung getheilt werden musste, andererseits noch ein Urtheil, welches eine gewisse Zeit erfordert, als Zwischenstation in den Reflexakt eingeschoben ist.

Die nun vor und nach den Märschen gewonnenen Zahlen sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Psychische Reaction an den Marschtagen.

Datum	No. des Marsches	B. vor dem Marsch	B. nach dem Marsch	P. vor dem Marsch	P. nach dem Marsch	C. vor dem Marsch	C. nach dem Marsch	S. vor dem Marsch	S. nach dem Marsch	F. vor dem Marsch	F. nach dem Marsch
30. April	1	18	16	14	18	21	24	17	18	21	21
2. Mai	2	11	12	13	13	23	—	16	15	22	25
5. „	3	—	13	—	13	24	21	18	19	30	29
8. „	4	14	14	13	14	23	20	19	20	29	23
9. „	5	17	12	14	14	20	18	19	21	23	18
11. „	6	12	12	15	17	19	19	17	16	21	21
18. „	7	13	15	14	16	21	22	20	19	19	21
19. „	8	13	17	14	14	—	—	17	20	18	20
22. „	9	—	16	21	14	22	23	19	20	21	18
23. „	10	14	15	13	15	—	—	20	19	24	20
28. „	11	—	18	—	19	—	25	—	17	—	—
29. „	12	—	—	—	17	20	24	20	18	23	23
30. „	13	16	19	16	16	—	—	17	18	25	19
2. Juni	14	32 (2)	19	19 (1)	16	20	18	20 (2)	23 (1)	23	29
6. „	15	—	—	25 (1)	26 (2)	18	35 (2)	21 (1)	23 (2)	—	—
8. „	16	—	26 (2)	—	—	—	22	—	21	—	—
9. „	17	31 (2)	26 (1)	—	—	25	33 (2)	25 (1)	27 (1)	44	31
13. „	18	18 (1)	25	23	23 (1)	—	—	20	28 (1)	27	37 (1)
16. „	19	29	28	21	22	—	—	20	29	31	38
19. „	20	20	25	29	26 (2)	22	23	23	33	30	30
20. „	21	34	33	27	28	—	—	21	27 (1)	34	32
21. „	22	28 (1)	26	32	24	—	—	24 (1)	23 (3)	32	25 (1)
26. „	23	26 (1)	32 (1)	22	27 (2)	29	34	22	25	29	28 (1)
27. „	24	—	—	28	23	32	27	20 (1)	23 (1)	32	35
28. „	25	37	34	26	25	31	31	—	—	30	31
3. Juli	26	—	31 (1)	—	27 (1)	—	27 (1)	—	28 (1)	—	26 (1)
4. „	27	—	—	—	24	—	33 (1)	—	23 (1)	—	33
7. „	28	—	25	—	24	—	—	—	25 (1)	—	29

Zunächst fällt in der Tabelle auf, dass etwa bis zum 14. Marsch, bei welchem die dritte Versuchsanordnung einsetzt, die Zahlen nach dem Marsch kaum höher sind, als vorher, ja, dass sie häufig nachher noch niedriger sind. Der Grund ist sicherlich in der auch bei vorhergehenden Kapiteln schon gemachten Beobachtung zu suchen, dass leichte Märsche — und solche sind unsere ersten 13 Märsche — geradezu belebend, erfrischend, anregend wirken, ähnlich wie ein Platzregen, wie er uns am Schlusse des 22., sehr anstrengenden Marsches

bis auf die Haut in wenigen Minuten durchnässte. Sofort war die vorher sehr gedrückte Stimmung wieder hergestellt, fröhlich wurde der Marsch zu Ende geführt. Zahlenmässig sprach sich diese veränderte Stimmung und man kann wohl auch sagen, diese veränderte Leistungsfähigkeit in den Zahlen aus, welche der Schreibhebel bei der Untersuchung der psychischen Reaction aufzeichnete.

	Vor dem Marsch	Nach dem Marsch	
B.	28 (1)	26	
P.	32	24	
S.	24 (1)	23 (3)	war sehr mitgenommen
F.	32	25 (1)	

Weiter fällt in der Tabelle auf, dass am Tage nach anstrengenden Märschen schon vor dem Ausrücken die Reaction erheblich mehr Zeit brauchte, als an Tagen, wo die Marschirer frisch und wohl ausgeruht zu dem Marsch antraten. Beispiele für diese Thatsache lieferte Herr B. am 21. und 22. Marschtage, Herr P. am 22., 24., 25., Herr C. am 24., Herr S. am 17. und 22., Herr F. am 21. und 22. Marschtage. Es ergiebt sich also auch aus unseren, bei den psychischen Reactionen gewonnenen Zahlen die schon mehrfach erwähnte, marschhygienisch wichtige Thatsache, dass vorangegangene Anstrengungen die Leistungsfähigkeit bei neu zu unternehmenden Märschen bedeutend herabsetzen.

Auch Unregelmässigkeiten in der Lebensweise am vorauf-gegangenen Abend, schlechter oder ungenügender Schlaf in der Nacht, persönliche Indisposition (Kopfschmerzen, wunde Füsse, Rückenmuskelschmerzen) spiegelten sich getreulich wieder durch verlängerte Reactionszeiten. Im Protokollbuch sind Einzelheiten nach dieser Hinsicht reichlich niedergelegt.

Auch die Häufigkeit der Fehlreactionen lässt sich als ein zweiter Maassstab für die Ermüdung verwerthen, allerdings mehr in zweiter Linie und mehr insofern, als das Auftreten häufiger Fehlreactionen schon einen hohen Grad der Ermüdung anzeigt. So bei Herrn S. am 22. Marschtage, wo er ganz ausnehmend angegriffen war, so bei Herrn C. (15. und

17. Marsch), auch bei Herrn P., der an Wundlaufen litt, am 15., 20. und 23. Marschtage.

Schon alle diese Unregelmässigkeiten werden es begreiflich erscheinen lassen, dass der Einfluss der Belastung bei den Zahlen der psychischen Reaction nicht recht zum Ausdruck kommt; äussere Umstände, die meteorologischen und individuellen Factoren, spielen gerade bei der psychischen Reaction eine grössere Rolle als bei den übrigen physiologischen Functionen des Körpers.

Indess erscheint es uns zweifellos, dass die von uns benutzte Methode bei einem speciell auf die psychische Reaction gerichteten Studium einem sorgsamen und geduldigen Beobachter werthvolle Aufschlüsse geben wird.

Durch eine andere einfache Methode haben wir versucht, die Leistung des Gehirns, speciell des Gedächtnisses, im Festhalten von Erinnerungsbildern, zahlenmässig zu bestimmen. Wir wählten zu dieser Prüfung das Wiederholen vorgesprochener Zahlen. Es wird dem zu Untersuchenden eine einstellige Zahl genannt; er spricht sie nach; es wird eine zweite genannt; er wiederholt zunächst die erste, dann die zweite; er hört eine dritte; nun zählt er die erste, dann die zweite und die neue dritte auf; jetzt folgt eine vierte, die er, die ersten drei wiederholend, der Reihe anschliesst und so fort bis bei einer gewissen Menge von Zahlenwörtern die Erinnerungsbilder sich verwirren. In der Anzahl der in richtiger Folge gesprochenen Zahlen hat man so ein Maass für die Gedächnisskraft des Untersuchten. Diese Anzahl war naturgemäss um so kleiner, je mehr der Betreffende seine Fähigkeit, Eindrücke zu fixiren, eingebüsst hatte.

In der Ruhe sammelten wir wieder für die einzelnen Herren Mittelwerthe, sie lagen bei 9—11, und waren aus 76 Untersuchungen gewonnen, deren jede einzelne wieder das Mittel aus 3, manchmal 4 Zahlenreihen darstellt.

Wie bei allen übrigen Untersuchungen wurde auch thunlichst bei jedem der Herren die Gedächtnisskraft vor und nach jedem Marsch festzustellen versucht (s. d. Tab. auf folg. Seite).

Die so aus 104 (hauptsächlich Doppel-) Beobachtungen erhaltenen Unterschiede sind nicht sehr erheblich, sie betragen meist 0 bis minus 3, zuweilen aber auch plus 1 bis 3.

Diese Zunahme erklärt sich einmal durch die anregende Wirkung nicht zu anstrengender Märsche, welche wir auch

Gedächtnissprüfung an den Marschtagen.

Datum	No. des Marsches	B. vor dem Marsch	B. nach dem Marsch	P. vor dem Marsch	P. nach dem Marsch	C. vor dem Marsch	C. nach dem Marsch	S. vor dem Marsch	S. nach dem Marsch	F. vor dem Marsch	F. nach dem Marsch
30. April	1	10	10	9	9	8	8	9	10	9	10
2. Mai	2	—	9	—	10	7	9	11	9	9	8
5. „	3	—	10	—	10	9	7	11	10	8	—
8. „	4	—	10	—	8	8	8	10	10	10	10
9. „	5	10	10	—	9	10	9	10	9	11	8
11. „	6	—	11	—	—	10	9	11	10	10	10
18. „	7	—	9	—	—	8	9	10	9	8	8
19. „	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22. „	9	—	10	—	9	6	9	12	11	9	10
23. „	10	—	11	—	9	—	—	11	10	9	—
28. „	11	—	10	—	9	—	10	—	11	—	—
29. „	12	11	—	—	10	8	10	10	10	10	9
30. „	13	11	9	—	10	—	—	11	11	11	10
2. Juni	14	10	11	10	10	9	9	12	10	9	—
6. „	15	—	11	—	—	—	—	—	11	—	—
8. „	16	—	10	—	—	—	10	—	10	—	—
9. „	17	—	9	—	—	8	9	11	11	9	11
13. „	18	—	10	—	—	—	—	10	10	10	8
16. „	19	10	9	11	9	—	—	12	10	10	9
19. „	20	10	11	—	—	8	10	12	11	11	10
20. „	21	11	10	—	—	—	—	11	9	9	10
21. „	22	11	10	—	—	—	—	10	13	9	9
26. „	23	10	9	11	9	9	9	11	8	11	10
27. „	24	—	—	13	10	8	10	12	10	11	9
28. „	25	9	9	11	9	9	8	—	—	10	9
3. Juli	26	—	—	—	—	—	8	—	8	—	—
4. „	27	—	—	—	—	—	9	—	10	—	10
5. „	28	—	11	—	—	—	—	—	11	—	10

bei den gleich zu besprechenden ergographischen Studien constatirten, zweitens aber durch eine gewisse Schlaffheit, welche nach dem sehr frühen Aufstehen oder den Anstrengungen des Vortages sich zunächst bemerkbar machte und die Zahlenreihe, welche sich nun ergab, kürzer ausfallen liess, als die zu späterer Stunde an Ruhetagen notirten Mittelwerthe. Diese Thatsache war besonders bei Herrn C. auffällig.

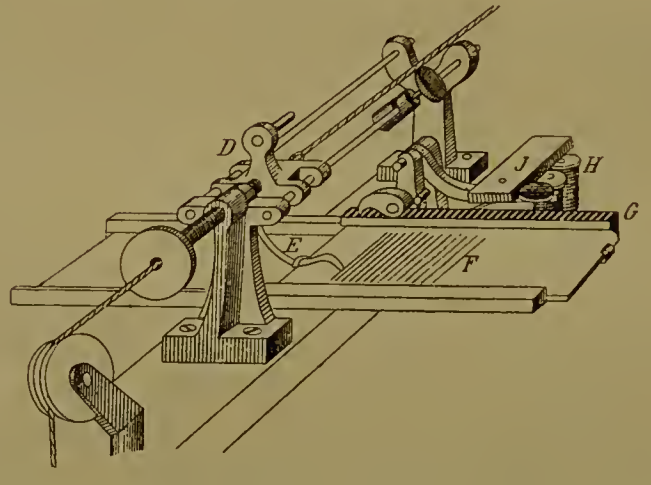
Abgesehen hiervon findet sich im Allgemeinen bei leichten Märschen (bis zum 14.) eine Verkürzung der Gedächtnisszahlenreihe um höchstens eine Stelle, bei den nun folgenden Märschen, meist mit 31 kg Belastung, stossen uns häufig Differenzen von 2—3 Zahlen auf.

Ein besonderer Einfluss der Belastung liess sich sonst nicht deutlich erkennen; ungünstige meteorologische Verhältnisse und individuelle Indisposition vereinen sich hier mit der schweren Belastung, um gelegentlich die Fähigkeit des Gehirns, Erinnerungsbilder festzuhalten, zu vermindern.

Ergographische Untersuchungen.

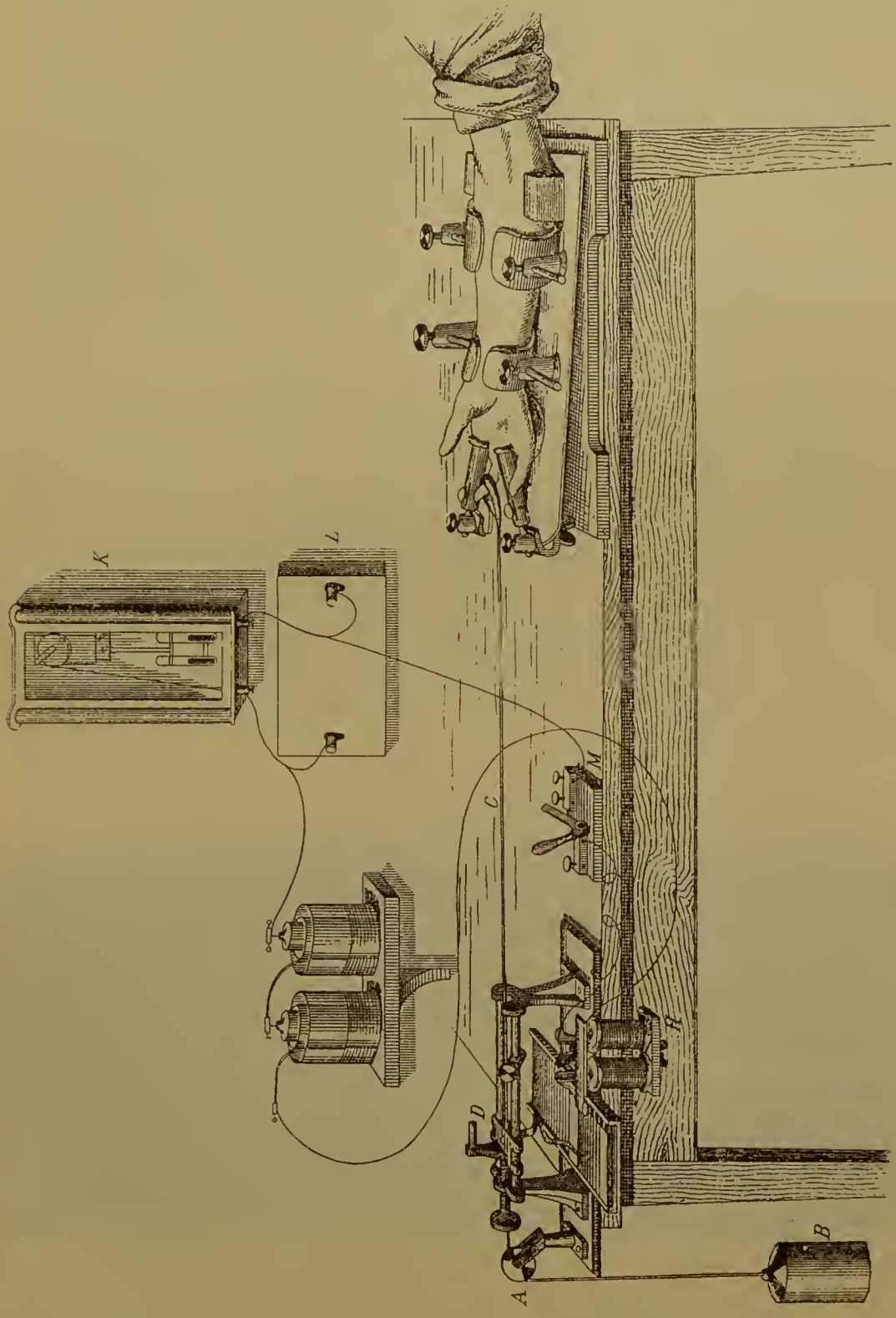
Um die Muskelermüdung auch im Bereiche der beim Marschiren nicht direct beanspruchten Muskeln zu bestimmen, bedienten wir uns des Mosso'schen Ergographen und zwar nach einer Methodik, die Mosso damals (im Jahre 1894) als zuverlässig erprobt hatte. Die Prüfung des Grades der Muskelermüdung geht von der durch Mosso's Untersuchungen wahrscheinlich gemachten Thatsache aus, dass, gleichviel welche Muskelgruppen des Körpers bis zur Ermüdung thätig waren, die Erschlaffung sich sämmtlichen übrigen Muskeln des Organismus mittheilt und zwar, wie Mosso hypothetisch meint, veranlasst durch die von den angestrengten Muskeln herrührenden Ermüdungsproducte.

Zur Ausführung der Untersuchungen wurde der von Mosso in Turin angegebene und von dort bezogene Ergograph benutzt (siehe die Zeichnungen).



Der Unterarm, stets der rechte, wurde in einem mit 4 verschiebbaren Stützen armirten und auf einem kräftigen Tisch festgeschraubten Halter sicher aber bequem in supinirter Stellung fixirt; der zweite und vierte Finger stecken bis an die Schwimmhaut in gleichfalls verstellbaren Hülsen, so dass nur der Mittelfinger sich beugen und strecken kann. Ueber das dritte Fingerglied wird eine Lederschlaufe gesteckt,

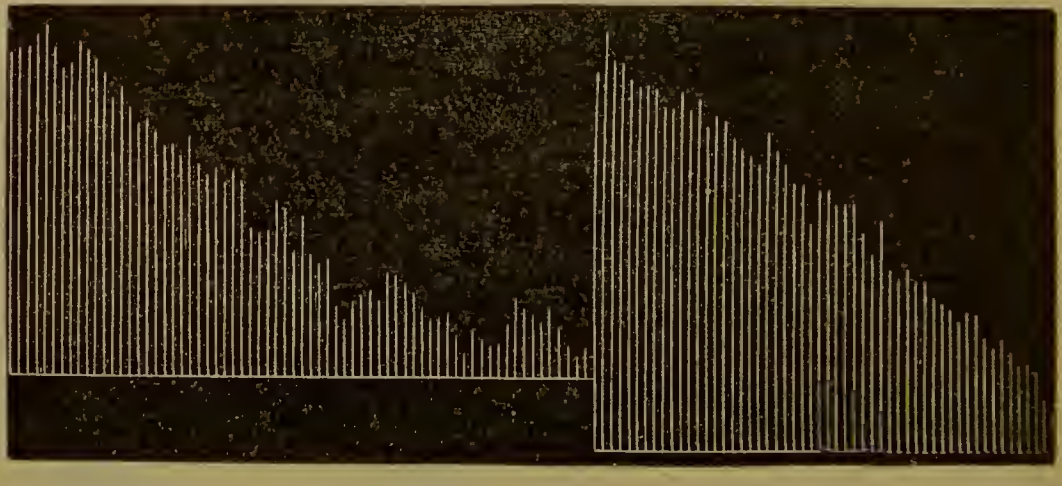
welche an dem einen Ende einer Darmsaite C befestigt ist, während das andere Ende der Saite, über eine Rolle A



laufend, ein Gewicht B (in unseren Versuchsreihen stets 4kg) trägt. In diese Schnur C ist ein Zeichenapparat D einge-

schaltet, welchen die Zeichnung auf Seite 140 gut veranschaulicht. An dem auf zwei Schienen laufenden Schaltstück D ist ein Zeichenhebel E befestigt, welcher auf einem Russpapier F genau die Länge des Weges des durch die Beugung des Mittelfingers hin und her bewegten Schaltstücks, welche gleich ist der Hubhöhe des Gewichts, aufzeichnet. Die Platte, auf welcher das Russpapier F befestigt wird, hat einen gezähnelten Rand G, und sie wird um den Zwischenraum zweier Zähne fortgeschoben, wenn der Elektromagnet H seinen Anker J anzieht oder, wie dies in unseren damaligen Versuchen noch geschah, wenn der Hebel mit der Hand niedergedrückt wurde. Ein Metronom gab die Geschwindigkeit an: Alle zwei Secunden wurde ein Hub ausgeführt und in den Russ mit dem Schreibhebel die Hubhöhe eingezeichnet. Bei den späteren Versuchen schloss die elektrische Uhr K alle zwei Secunden einen Strom, in dessen Kreis ein Condensator L eingeschaltet war, und der alle zwei Secunden den Electromagneten H magnetisch machte: dieser zog dann seinen Anker J an, und zwar mit einem lauten Klappen, welches der Versuchsperson wieder das Zeichen war, dass eine Contraction ausgeführt werden musste. Der Vorreiberschlüssel M diente zur Unterbrechung des Stromes in den Versuchspausen. Die entstandenen Curven haben folgendes Aussehen:

Ruhecurve von Herrn B. und F. am 15. Juni.



Um nun aus solchen Curven die geleistete Arbeit, in Kilogrammmetern ausgedrückt, zu berechnen, braucht man nur die einzelnen Ordinaten auszumessen, diese Zahlen zu addiren und mit 4 (dem gehobenen Gewicht) zu multipli-

ciren. In späteren Versuchen hat sich, um das mühselige Auszählen und Addiren zu umgehen, ein selbstthätiger, gleich die Summe der Hubhöhen anzeigender Hubmesser gut bewährt[1]).

Vom 9. Marsch ab haben wir mit dem Mosso'schen Ergographen von jedem Herrn vor und nach dem Marsch ein solches Ergogramm zeichnen lassen; ebenso von dieser Zeit ab an den Ruhetagen. Im Ganzen besitzen wir 160 Marsch- und 78 Ruhe-Ergogramme.

Bei der Betrachtung der Ruhe-Ergogramme fällt zunächst auf, dass fast bei allen Herren die Muskelleistungsfähigkeit von Woche zu Woche stieg, bis zum Schluss der zweimonatigen Versuchsperiode das Doppelte des anfänglich Geleisteten erreicht wurde, Werthe bis zu 10 Kilogrammmetern, welche diejenigen der Italiener meist um das Doppelte übertrafen. Wahrscheinlich ist die Ursache dieser erhöhten Muskelkraft, abgesehen von der sich ja anfänglich steigernden Einübung auf den Apparat, eine durch die Märsche selbst bewirkte Zunahme der Muskulatur, die zumal bei Herrn P. recht augenfällig bei der Körperuntersuchung war.

Die Mittelwerthe für die Ruhe bewegen sich für die fünf Herren zwischen 5,365 kgm und 7,419 kgm. Dabei sind allerdings, namentlich im Anfang, die Unterschiede der einzelnen Curven recht erhebliche, später werden durch die Uebung die Resultate constanter. (Siehe d. Tab. auf folg. Seite.)

Vergleicht man nun die Ergogramme vor und nach jedem Marsch, so findet man bei 77 Vergleichen 43mal eine Abnahme, 30mal eine Zunahme und 4mal keines von beiden. Eine Zunahme findet sich hauptsächlich bei den Märschen mit leichtem und mässig schwerem Gepäck (22 und 27 kg). Auch hier wie schon bei der Gedächtnissprüfung ist die Zunahme zu erklären durch die Mattigkeit, die sich, besonders wenn schon Tags vorher grössere Marscharbeit geleistet war, Morgens in der Frühe nach dem Aufstehen einzustellen pflegte und erst durch den Marsch selbst nach und nach schwand.

Mässige Temperatur (etwa 13°), nicht ohne Wind, regt gleichfalls die Muskelleistungsfähigkeit an. In besonderem Grade trat dies in die Erscheinung durch einen Platzregen,

---

[1]) Näheres siehe: Schumburg: Ueber den Einfluss des Zuckers auf die Leistungsfähigkeit der Muskeln. Deutsche militärärztliche Zeitschrift. 1896.

Ergogramme an den Marschtagen.

Datum	Nummer d. Marsches	B.		P.		C.		S.		F.	
		vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher
22. Mai	9	—	1,805	6,750	5,765	7,140	5,930	9,890	7,385	5,820	8,605
23. „	10	—	1,975	6,650	5,395	—	—	6,965	7,770	4,495	4,960
28. „	11	—	3,584	—	5,316	—	5,368	—	6,076	—	—
29. „	12	—	—	5,680	5,224	6,568	9,408	6,520	6,064	4,800	4,204
30. „	13	3,076	4,676	4,284	4,756	—	—	5,336	5,832	3,052	4,072
2. Juni	14	4,180	4,488	5,480	5,372	6,092	7,248	5,952	5,688	4,588	4,516
6. „	15	—	—	5,972	5,164	7,524	4,112	5,975	4,888	—	—
8. „	16	4,652	4,660	—	—	5,016	5,140	5,584	4,700	—	—
9. „	17	4,108	3,056	—	—	6,748	3,664	6,180	4,152	5,132	4,184
13. „	18	4,764	6,288	6,240	4,848	—	—	5,284	3,856	4,996	3,896
16. „	19	5,488	5,320	7,168	7,120	—	—	5,052	4,300	5,252	4,644
19. „	20	5,860	4,172	6,124	5,856	6,900	5,708	6,840	4,504	5,944	4,040
20. „	21	5,280	5,264	6,740	7,664	—	—	4,664	5,492	5,044	5,088
21. „	22	4,488	5,908	8,296	9,140	—	—	5,084	4,876	5,092	6,048
26. „	23	8,032	7,456	10,640	9,408	4,328	4,552	6,016	6,268	5,476	5,600
27. „	24	—	—	9,156	9,500	4,940	6,300	7,252	4,984	5,148	4,996
28. „	25	6,796	3,812	11,624	10,728	6,580	4,504	—	—	4,084	4,376
3. Juli	26	6,424	4,744	9,868	8,988	6,060	6,176	6,444	5,152	5,700	4,560
4. „	27	—	—	8,536	8,636	5,136	8,020	7,020	6,156	7,048	5,064
5. „	28	7,388	9,424	9,632	9,820	—	—	6,904	7,168	6,364	5,776

welcher bei dem 22. Marsch während der letzten 5 km nach beschwerlichem Marsch mit 31 kg Gepäck, das durch den Regen noch um 2—3 kg vermehrt wurde, auf uns niederströmte. Der Regen wirkte nach den Aussagen aller Marschirenden wie ein erfrischendes Bad.

Die Abnahme der Ergogramme findet sich einmal an den Tagen mit tropischer Hitze (26,9°), dann ganz offenbar an den Tagen der Märsche mit 31 kg, nicht ohne dass sich auch hier und da eine nicht ganz zu motivirende Ausnahme einstellt, ferner an Tagen mit herabgesetzter individueller Widerstandsfähigkeit, die besonders durch körperliche Leiden, wie heftige Fussschmerzen, verursacht wurde. So sank, um einige Beispiele anzuführen, bei Herrn B., der in Folge einer Entzündung des Bandapparates der kleinen Fussgelenke sich nur mit Aufbietung aller Energie bis zum Schluss fortschleppen konnte, das Ergogramm am 28. 6. von 6,8 auf 3,8 kgm, bei Herrn C., als er zum ersten Mal die hohe Belastung (31 kg) trug (Marsch 15), von 7,524 auf

4,112, bei Herrn F., der sich schon beim Ausmarsch am 13. 6. nicht ganz wohl fühlte, von 4,996, einer schon unter dem Mittelwerth liegenden Zahl, auf das Minimum von 3,896, bei Herrn P., welcher an diesem Tage recht wunde Füsse hatte, von 6,240 auf 4,848 Kilogrammmeter.

Auch die aus den Ergogrammen berechneten Zahlen haben wir unserem dreitheiligen, sich auf die 3 verschiedenen Belastungen gründenden Schema eingefügt. Die eingetragenen Werthe sind die Differenzen zwischen den von den einzelnen Herren vor und nach dem Marsch gehobenen Meterkilogrammen und zwar Durchschnittswerthe; sie drücken Meterkilogramme aus.

	B.	P.	C.	S.	F.
I. leicht, 22 kg	+ 0,2	— 0,2	+ 1,5	— 0,7	— 1,3
II. mittelschwer, 27 kg	+ 0,5	— 0,2	+ 0,7	+ 0,4	+ 0,4
III. schwer, 31 kg . . .	— 0,3	— 0,5	— 1.1	— 1,2	— 0,4

Die meisten Zunahmen der ergographischen Leistung sehen wir in vorstehender Tabelle in Gruppe II verzeichnet. Gerade diese Serie von Märschen wurde an Tagen ausgeführt, die nicht zu hohe Temperatur aufwiesen. In Gruppe I sind die Zunahmen schon spärlicher, trotzdem die Belastung eine geringere war (22 kg gegen 27 kg), hier drückte die tropische Hitze der 3 letzten Marschtage die ergographische Leistung herab. Allgemein aber ist eine Abnahme in Gruppe III (Belastung 31 kg) zu constatiren, welche bei Herrn C. und Herrn S. sogar recht hohe Werthe erreicht. Dass die Abnahme sich nicht von Gruppe zu Gruppe proportional der Belastung steigert, findet seine Erklärung hauptsächlich wohl in den oben geschilderten Temperaturverhältnissen.

So gut nun die Tabelle den Einfluss der Belastung auch zu illustriren vermag, so gut wissen wir doch, gestützt auf eine Reihe experimenteller Erfahrungen mit dem Mosso-schen Ergograph, die im Zuntz'schen Laboratorium im Jahr 1895[1]) gewonnen wurden, dass wir unseren oben erörterten Untersuchungen nicht zu grossen Werth beimessen dürfen. Es gelang nämlich beim Studium des Einflusses des Zuckers

[1]) Schumburg, l. c. S. 4.

auf die Leistungsfähigkeit der Muskeln nachzuweisen, dass die Autosuggestion bei den Versuchen eine grosse, nicht zu messende Rolle spielt, wenn die Versuchsperson die Versuche durchschaut. Das war nun bei unseren Marschversuchen der Fall. Indess gewinnt die Zuverlässigkeit der Resultate wieder dadurch, dass gerade unsere Versuchspersonen sich redlich und ernsthaft bemühten, die ihnen wohl bekannte, in der Autosuggestion liegende Fehlerquelle soviel als möglich zu vermeiden.

Zukünftige ähnliche Versuche müssen unbedingt für eine wirksame Verschleierung des Zieles der ergographischen Leistung sorgen.

g) Harn.

Quantitative Untersuchungen des Harns haben wir während des dreiwöchentlichen Bilanzversuches an den Herren P. und B. durchgeführt, sie werden in einem späteren Kapitel ausführlich besprochen. Mehr qualitative Prüfungen wurden während der ganzen Dauer der Versuche von Herrn cand. med. Géronne unter unserer Controle ausgeführt. Regelmässig bestimmte derselbe vor und nach den Märschen das specifische Gewicht und die Temperatur des Harns, ausserdem wurde nach sogleich weiter zu beschreibenden Methoden auf Eiweiss gefahndet. Die Messungen der Temperatur des Harnstrahls, die ja nur eine bequeme Methode der Messung der Körperwärme darstellen, sind in dem dieser gewidmeten Kapitel erörtert.

Das specifische Gewicht der Harne der 5 Herren vor und nach den Märschen ist in der Tabelle auf S. 148 u. 149 zusammengestellt. Für jeden Herrn sind in einer Columne alle Beobachtungen, welche sich auf den Ruhezustand beziehen, aufgeführt und daneben die Aenderung, welche das specifische Gewicht am Schlusse des 5stündigen Marsches erfahren hatte, ermittelt an dem Urin, welcher unmittelbar nach der Rückkehr im Laboratorium entleert wurde. Beim Anblick dieser Zahlen überrascht es, dass die Differenz zwischen dem vor und nach dem Marsche entleerten Urin meist negativ ist, d. h. dass der Urin am Schlusse des Marsches meist verdünnter war als zu Beginn desselben. Wir hatten das Gegentheil erwartet. Allgemein wird gelehrt, dass starke Schweisssecretion zur Bildung eines abnorm concentrirten Urins Anlass giebt. Die während

der Märsche abgesonderten Schweissmengen waren sehr erheblich, bis zu 3 Litern innerhalb der 5 bis 6stündigen Marschzeit und doch finden wir selbst an Tagen stärkster Schweissabsonderung ein Herabgehen des specifischen Gewichts. Vor dem Marsche war allerdings das specifische Gewicht des Harns etwas höher als man es meist im 24stündigen Durchschnitt findet. In Salkowski-Leube's Lehre vom Harn sind als Normalzahlen 1017—1020 angegeben, im Sommer bei starkem Schwitzen 1025—1030. Unsere Bestimmungen vor dem Marsche bezw. an Ruhetagen in den Vormittagsstunden einerseits, nach den Märschen andererseits ergeben die S. 150 zusammengestellten Mittelwerthe.

Wir sehen, dass bei allen Herren das specifische Gewicht den höheren für die Sommerzeit angegebenen Zahlen entspricht. Die höchsten beobachteten Werthe sind mehrmals 1033 bei Herrn S., 1032 bei Herrn C. Vereinzelte sehr niedrige Werthe z. B. 1006, 1007, 1008 bei Herrn F. erklären sich leicht durch reichliche Flüssigkeitsaufnahme in der Nacht. Nicht so einfach zu verstehen sind die enorm niedrigen Werthe, welche öfter bei der Rückkehr von den Märschen beobachtet wurden, trotzdem die stets genau controlirte Flüssigkeitsaufnahme keine übermässige war und dementsprechend der Körper am Schlusse des Marsches wasserärmer war, als zu Beginn desselben. Derartige Fälle finden wir bei Herrn C., F. und S.; am auffallendsten ist das Verhalten nach Marsch 9, wo die niedrigen specifischen Gewichte mit auffallend reichlicher Harnbildung einhergehen,

bei	Herrn	C.	= 1002	specif.	Gewicht	und	505 ccm	Harn
„	„	F.	= 1003	„	„	„	478 ccm	„
„	„	S.	= 1011	„	„	„	695 ccm	„

Bei den Märschen vorher und nachher bewegte sich die Harnmenge der Herren zwischen 130 und 250 ccm. Bei Marsch 7 zeigte Herr C. allein das niedrige specifische Gewicht von 1004. Bei Marsch 17 hat der Urin von C. nach dem Marsche 1013 specifisches Gewicht, es wurden 420 ccm secernirt gegen 175 bei spec. Gewicht 1018 am Tage vorher; dabei ist die Gewichtsabnahme des Körpers durch Verdunstung im letzteren Falle = 745 g, bei Marsch 17 = 1500 g. Es hängt also die Harnfluth auf dem Marsche keineswegs einfach von dem Wasservorrathe des Körpers ab; man muss

Specifisches Gewicht

Datum	No. des Marsches	Belastung	Mittlere Temperatur	B. vor dem Marsche	B. Differenz nach dem Marsche	Gewichtsabnahme des Herrn B. auf dem Marsche
28. April				1020		
29. „				26		
1. Mai	1	I	9,6	22	— 3	*120*
2. „	2	I	11,6	19	0	*1200*
4. „						
5. „	3	I	4,5	25	— 5	+ 100
7. „				25		
8. „	4	I	12,7	20	+ 1	*870*
8. „	5	I	14,6	20	0	*1100*
10. „				27		
11. „	6	I		20		
18. „	7	I	15,8	27	— 5	*800*
19. „	8	I	11,0			*650*
22. „	9	II	8,8	28	— 8	*100*
23. „	10	II	9,0	27	—10	*1200*
25. „				25		
26. „				—		
28. „	11	II		13		*940*
29. „	12*	II	13,4	16		
30. „	13**	II	13,6	—		*1400*
1. Juni				26		
2. „	14	II	15,8	—		*290*
4. „				24		
5. „				—		
6. „	15	III	17,8	—		
9. „	17*	III	11,7	18	+ 1	*450*
12. „						
13. „	18	III	13,4	30	— 9	*700*
15. „				25		
16. „	19	II	13,7	—		*780*
19. „	20	III	15,6	—		*1375*
20. „	21*	II	13,7	23	— 2	*1550*
21. „	22**	III	13,6	30	— 7	*(1040)* [1]
23. „						
26. „	23	III	13,8			*1300*
27. „	24*	III	14,7			—
28. „	25**	III	17,8			*400* [1]
29. „						
3. Juli	26	I	26,8			*830* [1]
4. „	27*	I	17,5			
5. „	28**	I	18,0			*775* [1]
6. „						
Mittel	(23)			1023,3 (23)	—3,9 (12)	

[1]) Am 21. Juni hat wegen des am Schlusse des Marsches eingetretenen um 470 g zugenommen, die Abnahme um 1040 g ergab sich bei Wägung Kleider viel erheblichere Gewichtsverluste, nämlich **1150**, **1180**, **1670** g. — In Col. 2

des Harns.

P. vor dem Marsche	P. Differenz nach dem Marsche	C. vor dem Marsche	C. Differenz nach dem Marsche	F. vor dem Marsche	F. Differenz nach dem Marsche	S. vor dem Marsche	S. Differenz nach dem Marsche	Aenderung durch den Marsch (Mittel der Marschirenden)
1030		1016		1023		1029		
						28		
25	— 3	26	— 3	20	+ 2	24	— 4	— 3
20	+ 5	19	+ 3	17	+ 9	27	— 4	+ 2,6
28				23		22		
23		30		13		12		— 5
—		30		24		23		
21	+ 4	22	+ 9	15	+ 8	16	+10	+ 6,4
26	+ 6	32	0	25	— 5	26	+ 4	+ 1,0
28		30		24		21		
29		28		25		—		
25	— 3	32	—28	27	— 7	29	— 7	—10,0
31	— 8	—	—	6	+14	33	— 8	— 0,7
—	—	22	—20	8	— 5	20	— 9	—10,5
25	+ 1	28	—	24	— 8	32	— 7	— 6,0
26		30		21		25		
30		27		25		15		
25		17		—		24		
27	— 1	32	— 7	15	+ 6	32	— 9	— 2,75
				10	+16	33	— 5	+ 5,5
31		25		23		—		
—		29	— 6	21	— 1	33	—11	— 6,0
31		29		21		21		
—		32		24		28		
25	+ 1	18	+ 5	—		28	— 5	+ 0,3
24	—	18	— 5	19	+ 3	18	+ 1	± 0
				13				
30	— 6	—		18	+ 5	19	0	— 2,5
26		—		23		21		
13	+ 6	—		7	+21	8	+15	+14,0
—		28	— 7	18	+ 2	26	— 4	— 3,0
16	+ 6	—		20	+ 3	23	+ 1	+ 2,0
29	— 4	—		18	+ 5	29	— 5	— 2,8
						23	— 5	— 5,0
		23	—10	16	+ 4	26	— 2	— 2,7
		10	+ 9					+ 9,0
		24	— 7	16	+ 7			± 0
		27		18		30		
		30	— 6	13	+10	31	— 6	— 0,7
		30	— 2	25	— 4	—		— 3,0
				23	—10			—10,0
		21		20		28		
1025,8	+0,3	1025,2	—4,7	1018,9	+3,2	1024,7	—2,9	— 1,3
(25)	(13)	(30)	(16)	(37)	(22)	(35)	(21)	

Platzregens das wie sonst in den Kleidern bestimmte Gewicht des Herrn B. ohne Kleider; auch am 28. Juni, 3. u. 5. Juli ergaben die Wägungen ohne
bedeutet ein * bezw. **, dass dem Marsch 1 bezw. 2 Marschtage vorangegangen sind.

Specif. Gewicht des Harns: Mittelwerthe.

Name	Ruhe		Nach dem Marsch		Aenderung durch den Marsch	
	Zahl der Fälle	Spec. Gewicht	Zahl der Fälle	Spec. Gewicht	Zahl der Fälle	Differenz des spec. Gewichts
B.	23	1023,3	16	1021,2	12	— 3,9
P.	25	1025,8	16	1023,8	13	+ 0,3
C.	30	1025,2	17	1020,2	16	— 4,7
F.	37	1018,9	24	1020,5	22	+ 3,2
S.	35	1024,7	24	1022,8	21	— 2,9
Mittel	**150**	**1023,6**	**97**	**1021,7**		— 1,6

wohl zu ihrer Erklärung an besondere Momente denken, welche die Nierenthätigkeit anregen; wir erinnern an die Thatsache, dass nervöse Einflüsse, rein psychische Vorgänge sogar, zur massenhaften Ausscheidung eines wässerigen Urins führen können (Urina spastica). Es sind, wie es scheint, hauptsächlich Märsche an kühlen Tagen, bei starkem Winde oder bei sehr wechselndem Wetter, welche diese eigenthümliche Anreizung der Nierenthätigkeit bewirken. Die Grösse der Marscharbeit, die Schwere der Belastung scheint für die Dichte des abgesonderten Harns nicht von wesentlicher Bedeutung zu sein.

Wenn wir für jeden Marschtag die Aenderungen der Harndichte für die 5 Herren mitteln und diese Tagesmittel wieder in 3 Gruppen nach den Schwere der Belastung ordnen, so erhalten wir folgende Zahlen:

Im Mittel von 10 Märschen mit leichtem Gepäck: — 2,8
„ „ „ 7 „ „ mittlerem „ — 0,5
„ „ „ 8 „ „ schwerem „ — 0,2
„ „ „ 9 „ „ welchen schon 1 oder 2 Marschtage vorangegangen sind: — 0,7

Die durch den Marsch bewirkte Herabsetzung der Harndichte wird bei schwererem Gepäck, also grösserer Anstrengung etwas geringer. Hier macht sich also doch der grössere Wasserverlust durch die stärkere Perspiration in seiner Wirkung auf die Harndichte bemerkbar.

Wenn man die vorstehend mitgetheilten Daten betrachtet, kommt man zu der Ueberzeugung, dass der Marsch ein stark diuretisch wirkendes Moment wach ruft, welches trotz der Wasserabnahme des Körpers die Absonderung eines relativ dünnen Harns anregt. Wir haben oben schon darauf hingewiesen, dass auf die Haut und das Nervensystem wirkende äussere Reize und psychische Vorgänge in gewissen Fällen wirksam sind. Wahrscheinlich bleibt es aber daneben, dass durch die Muskelthätigkeit diuretisch wirkende Stoffe in die Circulation gebracht werden. Endlich kommt noch die Anregung des Blut- und Lymphstromes als mitwirkend in Frage. — Wie aber auch der Antheil der einzelnen hier angedeuteten Umstände sein mag, jedenfalls führt die Muskelthätigkeit auch durch die Diurese zu einer Wasserverarmung des Körpers und zwar zu einer Wasserverarmung, welche durch die der Willkür vollkommen überlassene Getränkaufnahme nicht alsbald compensirt wird. Für die von Oertel namentlich in ihrer therapeutischen Bedeutung gewürdigte Herabsetzung des Wassergehalts der Gewebe bietet also der Marsch nicht nur wegen der Verdunstung, sondern auch wegen der gesteigerten Diurese ein sicher wirkendes Mittel.

Oertel hat in seiner allgemeinen Therapie der Kreislaufstörungen (S. 228 f.) nachgewiesen, dass Kranke mit geschwächtem Kreislauf nach Spaziergängen und Bergbesteigungen mehr Harn ausscheiden als in der Ruhe; unsere Versuche zeigen, dass dies auch bei Gesunden, deren Nieren normal fungiren, der Fall ist.

Einen mit unseren Beobachtungen durchaus harmonirenden Befund hat Henschen[1]) bei Skidwettläufen über 95 km, also einer Anstrengung, welche die unserer Marschierenden namentlich an Dauer weit übertraf, constatirt. Das specifische Gewicht des Urins war

in Mittel von 24 Bestimmungen vor dem Laufen = 1,024
„ „ „ 27 „ nach „ „ = 1,021

Wir wissen seit den viel citirten Versuchen Leube's[2]), dass bei manchen Menschen, an deren Gesundheit zu zweifeln kein Anlass vorliegt, geringe Mengen von Eiweiss im Harn beobachtet werden. Unter 154 Morgenurinen von 119 ge-

---

[1]) Henschen, Skidlauf und Skidwettlauf. Jena 1899. S. 65.
[2]) Virchow's Arch. 72. S. 175.

sunden Soldaten fand sich 5mal eine nur geringe, 1 mal eine stark in die Augen fallende Trübung nach dem Kochen und Zusatz von Salpetersäure. Wo die Trübung sich zeigte, wurde eine andere Probe des Urins etwas eingedampft, durch ein wenig Essigsäure heiss ausgefällt, der Niederschlag durch Millon's Reaction und die Biuretprobe nach dem Kochen mit Kalilauge als Eiweiss identificirt. Nach einem 5stündigen Reisemarsch, bezw. nach mehrstündigem Exerciren in Sommerhitze wurde viel häufiger Eiweiss gefunden; ausser in jenen Fällen, wo schon der Morgenurin eiweisshaltig war und wo 3 mal der Eiweissgehalt nach dem Marsche viel stärker war, als vorher, wurde noch 18 mal unter 148 Einzeluntersuchungen Eiweiss nachgewiesen bei Soldaten, deren Morgenurin ganz frei davon war.

Im Jahre 1893 erschien eine ebenfalls an gesunden Soldaten ausgeführte Untersuchungsreihe von Flensburg in Stockholm[1]). Derselbe untersuchte den Harn von 32 Rekruten 11 Tage lang, den von 21 Landwehrmännern 6 Tage lang und zwar gesonderte Proben früh nach dem Aufstehen, vor dem Mittagsmahl und Abends um 6 Uhr. Zum Nachweis diente die Heller'sche Probe. Es ergab sich, in Uebereinstimmung mit Leube's Befund, dass die körperliche Thätigkeit in den Vormittagsstunden die Zahl der positiven Fälle bedeutend vermehrt hat. Von allen Untersuchungen ergaben positiven Ausfall der Heller'schen Probe:

Morgens 2,12 pCt.,
Mittags 8,1 pCt.,
Abends 5,0 pCt.

Von 53 Soldaten zeigten nicht weniger als 29 bei einer oder der anderen Untersuchung Albuminurie. Von erheblichem Einfluss erwies sich das kalte Bad: Vor demselben 6,4 pCt., nach demselben 18,6 pCt. Albuminurie. Früher überstandene Infectionen, speciell Scharlach und Masern, zeigten keinen Einfluss auf die Neigung zur Eiweissausscheidung. Die weitere Prüfung ergab, dass das als Eiweiss angesprochene Sediment in der Mehrzahl der Fälle Nucleoalbumin bezw. Mucin war.

Nach dem Gesagten erschien eine Prüfung auf Eiweiss in unseren Versuchen deshalb bedeutungsvoll, weil sich dabei

[1]) Skandin. Arch. f. Physiol. IV. S. 410.

zeigen musste, ob etwa die durch grösseres Gepäck bedingte schwerere Anstrengung häufiger oder reichlicher Eiweiss erscheinen lasse. Vor und nach den ersten Märschen wurde die Heller'sche Probe durch Unterschichten des Urins mit Salpetersäure im Reagensglase angestellt — regelmässig mit negativem Erfolge. Vom 9. Juni (Marsch 17) ab, wurde deshalb eine empfindlichere Probe angewendet. Wir stützten uns dabei auf die Erfahrungen und kritischen Versuche von Posner[1]) und von Winternitz[2]), jedoch mit der Modifikation, dass wir von der Ausfällung der Eiweisskörper durch Alcohol absahen, weil die uns zur Verfügung stehenden geringen Harnmengen hierbei kaum ein positives Resultat erhoffen liessen. Wir versetzten stets gleichmässig 20 ccm Harn mit 10 ccm Essigsäure, dampften auf dem Wasserbade stark ein und brachten die Flüssigkeit in einem kleinen graduirten Cylinder auf das Volum von $7^1/_2$ ccm. Hierzu wurden 4 bis 5 Tropfen Ferrocyankalium-Lösung gesetzt und nach 24 Stunden die Stärke des Niederschlags abgeschätzt und mit Zahlen (1 = schwach, 2 = mittel, 3 = stark) bezeichnet. Der von der überstehenden Flüssigkeit möglichst vollkommen befreite Niederschlag wurde mit einigen Tropfen Millon's Reagens erhitzt. Für die auftretende Röthung wurden dieselben 3 Abstufungen durch Zahlen unterschieden wie beim Ferrocyankaliumniederschlag. — Auf die Zuverlässigkeit dieser Doppelprobe hat Winternitz[3]) hingewiesen. In unseren Versuchen ergab sich nach einiger Uebung, dass die Zahl für die Millon'sche Rothfärbung entweder gleich oder niedriger ausfiel als die für den Ferrocyankaliniederschlag eingesetzte. Nur in einigen Fällen fiel die Millon'sche Reaction negativ aus, wenn ein Niederschlag von der Stärke 1 oder 2 entstanden war. In diesen Fällen nehmen wir die Gegenwart von Eiweiss nicht als erwiesen an. Aus Zeitmangel musste die Millon'sche Probe öfters unterlassen werden; in diesen Fällen ist die Gegenwart einer der Stärke des Ferrocyankaliniederschlags entsprechenden Eiweissmenge wahrscheinlich, aber nicht gesichert. Ueber die Natur des eiweissartigen Körpers, darüber, ob derselbe den Mucinen, Nucleoalbuminen oder den echten Albuminen zuzurechnen sei, geben

---

[1]) Virchow's Arch. 104. S. 497.
[2]) Zeitschr. f. physiol. Chemie. 15. S. 189 u. 16. S. 439.
[3]) Zeitschr. f. physiol. Chemie. 15. S. 197 u. 16. S. 441.

unsere Versuche natürlich keinen Aufschluss. Die Resultate sind nachstehend zusammengestellt. Unter Fe steht die Zahl für den Ferrocyankaliumniederschlag, unter Mi die für die Millon'sche Färbung.

Eiweissreactionen.

Datum	B.				P.				C.				S.				F.			
	vorher		naeh d. Marsch		vorher		naeh d. Marsch		vorher		nach d. Marsch		vorher		nach d. Marsch		vorher		nach d. Marsch	
	Fe	Mi	Fe	Mi	Fe	Mi	Fe	Mi	Fe	Mi	Fe	Mi	Fe	Mi	Fe	Mi	Fe	Mi	Fe	Mi
9. 6.	2	1	*2*	*1*	2	—	—	—	2	1½	*2*	*1*	3	—	*1*	—	2	1	*2*	*2*
12. 6.	3	2			3	1			—	—			2	2			1	1		
13. 6.	2	0	*2*	—	2	2	*2*	—					2	0	*2*	—	2	1	*2*	*1*
15. 6.	3	1			3	1							2	—			1	1		
16. 6.					1	—	*2*	—					2	—			2	—	*2*	*1*
19. 6.	—	—	*2*	*1*	—	—	*2*	—	2	1	*1*	*1*	2	1	*1*	*1*	2	2	*3*	—
20. 6.	2	2	*2*	*1*	2	2	*2*	—					3	2	*2*	—	2	1	*2*	*1*
21. 6.	3	1	*2*	*3*	3	3	*2*	*1*					3	1	*3*	*1*	2	1	*3*	*3*
23. 6.											*3*	—	3	1	*1*	—			*1*	—
26. 6.									2	1	*2*	—	2	1	*2*	—	3	—	*2*	—
27. 6.									3	1	*2*	—			*2*	—			*1*	—
28. 6.									3	3	*2*	*1*					3	—	*2*	—
29. 6.									3	3			3	1			3	2		
3. 7.									3	—	*1*	—	2	1	*3*	—	1	—	*3*	—
4. 7.									1	3	*3*	—			*3*	—	1	½	*2*	—
5. 7.															*3*	—	3	3	*3*	*2*
6. 7.									3				3				2			
Mittel	2,5	1,2	*2,0*	*1,5*	2,3	1,8	*2,0*	*1,0*	2,4	1,9	*2,0*	*1,0*	2,5	1,1	*2,1*	*1,0*	2,0	1,35	*2,2*	*1,7*

Vom 23. Juni ab fehlen die Herren B. und P. in der Tabelle, weil an ihnen ein Bilanzversuch angestellt wurde und daher kein Harn verloren gehen durfte. Dafür wurde ein Theil des auf 2 Liter aufgefüllten Tagesharns zur Prüfung auf Eiweiss benutzt. Die Resultate zeigt die folgende Tabelle Seite 155.

Wir finden bei Betrachtung der Tabellen, dass bei der beschriebenen Prüfung im 24stündigen Durchschnittsharn die Eiweissreactionen nie versagten und dass sie in den Einzelproben nur sehr selten negativ ausfielen. Nach dem Marsch sind die Reactionen selten stärker, manchmal schwächer als

Eiweissreactionen im 24stündigen Durchschnittsharn der Herren B. und P. bei gleichmässiger Kost (Bilanzversuch).

Datum	B.		P.		Bemerkungen.
	Fe	Mi	Fe	Mi	
25. Juni	2	—	2	—	
26. „	3	2	2	—	
27. „	1	—	2	1	Marsch mit 31 kg Gepäck.
28. „	2	—	2	1	B. Ruhe. — P. 2. Marsch mit 31 kg.
29. „	3	2	3	3	Marsch mit 31 kg; beide Herren.
30. „	2	—	3	3	
1. Juli	3	3½	3	2	
2. „	3	—	3	3	
3. „	½	1	1	1	
4. „	2	3	3	2	Marsch mit 22 kg; drückende Hitze.
5. „	2	—	3	—	B. Ruhe. — P. 2. Marsch mit 22 kg.
6. „	2	—	3	—	Marsch mit 22 kg; beide Herren.
7. „	2	—	2	1	
8. „	1	1	2	1	

vorher. In den Mittelwerthen tritt diese günstige Wirkung des Marsches deutlich hervor; nur bei Herrn F. ist der Eiweissgehalt nachher ganz wenig höher als vorher. Wenn wir die Tage 19.—21. Juni, 26.—29. Juni und 3.—6. Juli, wo jedesmal 3 Märsche hintereinander ausgeführt wurden, betrachten, erkennen wir, dass am Schluss einer solchen Reihe von Anstrengungen der Eiweissgehalt des Urins etwas ansteigt und zwar sowohl an den vor dem 3. Marsche und am 4. Tage früh genommenen Proben, als auch in den nach Schluss des 3. Marsches. Die vorstehende Tabelle zeigt dieselbe Wirkung im 24 stündigen Durchschnittsharn des Herrn P. Herr B. hat nicht mehrere Tage hinter einander marschirt.

In Uebereinstimmung mit unseren Resultaten fand Benedicenti[1]) bei Untersuchung des Harns einer grösseren Anzahl von Soldaten vor und nach einem anstrengenden Marsche nur in 2 Fällen leichte, rasch vorübergehende Albuminurie.

[1]) Referirt in Maly's thierchem. Jahresber. 1897. S. 355.

Das eben besprochene Verhalten des Harns steht in einem gewissen Gegensatz zu vielen neueren Angaben über Auftreten von Albuminurie im Gefolge grösserer körperlicher Anstrengungen. Wir erinnern an die Befunde Albu's[1]) bei Rennfahrern. Hier liess sich fast regelmässig nach den nur 5—30 Minuten lang dauernden Anstrengungen in dem vorher eiweissfreien Urin durch die einfache Kochprobe Eiweiss darthun. In mehr als der Hälfte der Fälle enthielt der Harn auch hyaline Cylinder und Epithelien. Dem Befunde von Albu entspricht der von Macfarlane[2]). Er fand bei 29 sonst gesunden Leuten nach anstrengendem Fussballspiel Eiweiss, einmal auch Cylinder im Urin; nach einigen Stunden war der Harn wieder normal.

Besonders instructiv für die Erklärung dieser Erscheinungen sind die Untersuchungen von S. E. Henschen (Upsala)[3]). Bei 4 Wettläufen über 5, 10, 25 und 95 km wurden möglichst viele Theilnehmer vorher und nachher gründlich untersucht. Die kürzeren Rennen bewirkten bei der Mehrzahl Albuminurie.

Beim Rennen über 5 km blieben von 14 Untersuchten nur 2 frei von Eiweiss, 7 zeigten Spuren, 5 messbare Mengen, daneben hatten 4 spärliche, 6 zahlreiche hyaline Cylinder. Beim 10 Kilometerrennen hatten alle 7 Untersuchten nachher Eiweiss, dagegen erwies sich das 95 Kilometerrennen, an welchem meist vollkommen ausgewachsene Männer in wohl trainirtem Zustande theilnahmen, viel weniger nachtheilig für die Nieren: Von 32 Untersuchten hatte 1 vorher, 6 nachher Eiweiss im Urin; von letzteren wurden 4 auf Cylinder untersucht, 2 mit positivem, 2 mit negativem Ergebniss. —

Die mitgetheilten Beobachtungen lassen zusammengehalten mit unseren eigenen erkennen, dass nur übermässige Anstrengungen, wenn dieselben auch nicht lange fortgesetzt werden, zur Albuminurie führen, dass dagegen sehr erhebliche, aber der Leistungsfähigkeit des Individuums angepasste Muskelarbeit den Harn meist normal lässt. Wenn wir uns der von Heidenhain[4]) zusammengestellten Thatsachen er-

---

[1]) Verhandl. d. Berl. med. Gesellsch. 17. Febr. 1897.

[2]) Aus Med. Record in Zeitschr. f. Gesundheitspflege. 8. 1895. Seite 688.

[3]) Ueber Skidlauf und Skidwettlauf. Jena 1899.

[4]) Hermann's Handbuch der Physiologie. Bd. V. 1. S. 337.

innern, wird es wahrscheinlich, dass ungenügende Versorgung des Nierengewebes mit Sauerstoff die Fähigkeit der Glomeruli, das Eiweiss zurückzuhalten, vorübergehend schädigt. Die übermässige Körperanstrengung kann durch den gewaltigen Sauerstoffverbrauch der thätigen Muskeln, welchem Herz- und Athemleistung schliesslich nicht mehr gewachsen ist, eine ungenügende Blut- und Sauerstoffversorgung der Nieren bewirken. Auf jeden Fall dürfen wir in dem Auftreten der mit den gewöhnlichen Reagentien nachweisbaren Albuminurie ein Zeichen sehen, dass die Muskelanstrengung die zulässigen Grenzen überschritten hat und umgekehrt wird das Fehlen einer solchen Albuminurie nach allen unseren Märschen ein Beweis sein, dass selbst mit dem schwersten Gepäck nach dem 25 Kilometermarsch die geübten jungen Leute jene gefährliche Grenze der Ueberanstrengung noch nicht überschritten hatten. Nicht ohne Interesse ist es, dass die doch schon recht grossen und langdauernden Anstrengungen unserer Märsche den Gehalt des Urins an eiweissähnlichen Körpern eher herabgesetzt haben. Dies erklärt sich wohl aus dem vorher besprochenen grösseren Wasserreichthum der Marschurine.

IV. Einfluss des Marsches auf den Stoff- und Kraftwechsel.

a) Bilanz des Stoffwechsels.

Die dauernde Leistungsfähigkeit des menschlichen Körpers ist abhängig von der Integrität seiner Organe. Jede Arbeit und jede Leistung erfolgt nun unter Verbrauch von Organsubstanz, deren Ersatz durch die Nahrung zu geschehen hat. Der Verbrauch vollzieht sich in der Weise, dass die organischen Substanzen sich fast so wie bei der Verbrennung im Ofen mit dem durch die Athmung stetig zugeführten Sauerstoff der Luft zu Kohlensäure und Wasser vereinigen, neben welchen noch aus den Eiweisskörpern Harnstoff und andere

stickstoffhaltige Producte entstehen und durch Harn, Koth und Schweiss ausgeschieden werden.

Wie im Ofen Wärme entsteht, welche durch geeignete Maschinen in mechanische Kraft umgesetzt werden kann, so entsteht auch bei der Spaltung und Oxydation der Organbestandtheile Wärme und mechanische Kraft (Muskelleistungen). Nach dem Princip von der Erhaltung der Energie ist die Wärmemenge, bezw. deren Aequivalent an mechanischer Energie, welche eine gegebene Substanz bei ihrer Verbrennung erzeugt, eine constante, unter welchen Bedingungen auch die Verbrennung erfolgen mag. Diese Verbrennungswärme, ausgedrückt in Wärmeeinheiten „Calorien“ bezw. in Krafteinheiten „Meterkilogrammen“ ist nun für die einzelnen Bestandtheile eines Körpers und der zum Ersatz dienenden Nahrung durch genaue Versuche festgestellt. Kennt man daher die Art und die Menge der im Körper umgesetzten Stoffe, so weiss man auch, wie gross die zur Verfügung stehende Kraftmenge ist, und erfährt, wenn man diese mit der wirklich geleisteten Arbeit vergleicht, wie ökonomisch der Körper als Bewegungsmaschine gearbeitet hat.

Durch frühere Versuche wissen wir, dass der Nutzeffect unter günstigen Umständen etwa 33 pCt. des Energiewerthes der umgesetzten Stoffe beträgt, aber auch erheblich, bis auf die Hälfte dieses Werthes, sinken kann.

Je geringer der mechanische Nutzeffect, desto grösser ist die entsprechende Wärmemenge und mit ihr bei bedeutender Arbeit die Gefahr der Ueberhitzung des Körpers.

Ungünstig beeinflusst wird der mechanische Nutzeffect, wie frühere Versuche gelehrt haben, durch übermässige Beanspruchung einzelner Muskeln. Wenn die stärkere Belastung solche herbeiführt, wird der Schaden dadurch messbar sein, dass der Stoffverbrauch, berechnet auf die Arbeitseinheit, ein grösserer wird. Eine solche Steigerung des Stoffverbrauchs verdient also, wie ebenfalls aus älteren Studien an arbeitenden Menschen bekannt ist, deshalb alle Beachtung, weil bei Fortdauer und Steigerung der Ueberanstrengung sich an diese quantitative Aenderung des Stoffwechsels im thätigen Muskel eine qualitative anschliesst, dadurch bedingt, dass die Blutzufuhr zum Muskel mit dem Bedarf nicht mehr Schritt hält und nun eine tiefergreifende Zersetzung seiner Substanz, welche für lange Zeit die Leistungsfähigkeit mindert, Platz greift (Overtraining).

Aber auch für den Fall, dass es nicht zu dieser extremen Schädigung des Körpers kommt, und sie wurde in unseren Versuchen selbstverständlich vermieden, muss man daran denken, dass der Stoffverbrauch des angestrengt marschirenden Soldaten an der oberen Grenze dessen steht, was er durch Nahrungsaufnahme wieder ersetzen kann. Jede erhebliche Mehrbeanspruchung wird daher auf Kosten des Bestandes der Organe erfolgen.

Dies sind die wesentlichsten Momente, welche es nothwendig machten, in unseren Versuchen den Stoffverbrauch des marschirenden Soldaten zu ermitteln; der scheinbar einfachste Weg hierzu, die Messung der Nahrungsaufnahme bei Controle des Körpergewichts, giebt nur auf einen Theil der wesentlichen Fragen Antwort.

Das Gewicht ändert sich mit dem Wasservorrath des Körpers, der gerade bei Arbeitenden bedeutende Schwankungen erleidet, wie unsere Bestimmungen der Dichte des Blutes vor und nach dem Marsch gelehrt haben. Es kann ferner vorkommen, dass ein Bestandtheil der Nahrung, etwa Eiweiss, im Körper angesetzt wird, und dafür ein anderer Stoff, etwa Fett, von den Vorräthen des Körpers entnommen und verbraucht wird. Sicheren Entscheid über die Aenderungen, welche unter der Einwirkung der Märsche im Körper vor sich gehen, liefert daher nur der sogenannte Bilanzversuch mit vollständiger Controle aller Einnahmen und Ausgaben. — Bei einem solchen „Bilanzversuch“ lehrt der Vergleich der Eiweisszufuhr in der Nahrung mit der Stickstoffausscheidung in Harn, Koth und Schweiss, wie sich der Eiweissbestand des Körpers geändert hat, während die Kohlensäureausscheidung durch die Athmung und die Sauerstoffaufnahme die Grundlagen einer relativ einfachen Rechnung liefern, welche ergiebt, in welchen Mengen die neben dem Eiweiss noch in Betracht kommenden zwei Nährstoffe, die Kohlenhydrate und die Fette, an dem Umsatz theilnehmen. Die Berechnung stützt sich auf die Thatsache, dass bei der Verbrennung der Fette auf einen Raumtheil verbrauchten Sauerstoffs nur 0,7 Raumtheile Kohlensäure entstehen, während bei der Verbrennung der Kohlenhydrate das Volumen beider Gase das gleiche ist.

Die Messung des Einflusses der Arbeit auf den Eiweissumsatz wird nun noch dadurch erschwert, dass die in Folge der Arbeit gebildeten stickstoffhaltigen Stoffwechselproducte

nicht unmittelbar in den Ausscheidungen erscheinen, sondern erst, wie Argutinsky gefunden hat, im Verlaufe einiger Tage. Es müssen deshalb auf jede Marschperiode mehrere Ruhetage folgen, in welchen die allmähliche Rückkehr des Eiweissumsatzes zur Norm beobachtet wird.

Wir haben den Stoffwechselversuch an den Schluss unserer Marschirversuche gelegt, weil wir dadurch die Unregelmässigkeiten, welche durch mangelhafte Uebung hätten entstehen können, vermieden. Besonders wichtig erschien es uns, die gleichmässige Ernährung nicht zu einförmig zu gestalten und sie dem Geschmack der Versuchspersonen möglichst anzupassen. Erfahrungsgemäss ist es sonst nicht möglich, dass ein Mensch 3 Wochen ohne Widerwillen täglich dieselbe genau zugewogene Kost quantitativ verzehrt. Wir wählten als Grundlage der Nahrung mageres Rindfleisch, Cervelatwurst, Brod, Butter. Zur Erzielung einer gewissen Mannigfaltigkeit wurden noch geringe Mengen von Eidotter, Orange-Marmelade, Zucker, sowie als Genussmittel Kaffee, Bier und Cognac in den Diätzettel aufgenommen.

In einer Vorperiode wurde die den Herren zusagende Quantität der Nahrungsmittel durch Zurückwiegen der im Ueberschuss gereichten Stoffe ermittelt. Dabei stellte sich heraus, dass Herr P., welcher etwa 5 kg schwerer als Herr B. war, ein grösseres Nahrungsbedürfniss als dieser hatte. Durch Zulage von 50 g Reis und 300 ccm Milch wurde diesem Bedürfniss Rechnung getragen.

Bei der Versuchsanordnung wurde noch darauf Bedacht genommen, den Eiweissgehalt der Nahrung nicht allzu reichlich zu bemessen. Dies geschah einerseits deshalb, um Steigerungen des Eiweisszerfalls, bezw. Verluste von Körpereiweiss, wie sie etwa durch Ueberanstrengung bewirkt werden könnten, deutlicher hervortreten zu lassen, andererseits um die Kost der durchschnittlichen Ernährungsweise der Truppen entsprechend zu gestalten. Die bei der grossen Arbeit unter diesen Umständen nöthigen Mengen von Kohlenhydraten konnten unsere Versuchspersonen in Form von Brod nicht dauernd bewältigen; dazu gehört bekanntlich anhaltende Gewöhnung des Magens an solche voluminöse Kost. Da sie andererseits als Studenten an regelmässigen Biergenuss gewöhnt waren, fanden wir es richtig, einen Theil des Kohlenhydratbedarfs in Gestalt von Bier zuzuführen.

Um Differenzen in der Zusammensetzung der Nahrung

während der Versuchsreihe zu vermeiden, wurden alle Nahrungsmittel mit Ausnahme des Brodes in einer für die ganze Versuchsreihe (17 Tage) ausreichenden Menge beschafft und passend conservirt.

Als Fleisch wurde mageres Rinderfilet in Portionen von 125 g zerschnitten und jede dieser Portionen in einer gläsernen, mit Pergamentpapier überbundenen Einmachekruke wiederholt auf 66° 2 Stunden lang erhitzt und dann im Eisschrank aufbewahrt. Sie hielten sich bis auf 2 tadellos. Von dem Fleisch wurden gleich beim Einfüllen in die Gefässe drei Durchschnittsportionen zur Analyse entnommen. Die Wurst war Cervelatwurst; es wurden im Verlauf der Versuche mehrfach Scheiben zur Analyse herausgeschnitten. Von Brod wurden zwei Sorten verwendet (Weiss- und Graubrod) und es war mit dem Bäcker die Absprache getroffen, dass ein und derselbe Mehlvorrath zum Erbacken unseres Versuchsbrodes verwendet werde. Die Versuchspersonen nahmen gleichmässig täglich 200 g Graubrod und 150 g Weissbrod; ein Vorrath für mehrere Tage wurde in gut schliessenden Glasgefässen aufbewahrt und davon je eine Durchschnittsprobe analysirt. Stickstoff, Aetherextract, Asche und Wasser wurden direct bestimmt, die Differenz als Kohlenhydrate angesehen. Von Eigelb wurden täglich je 50 g gegeben, und zwar in der Art, dass die nöthige Zahl Dotter, unmittelbar dem Ei entnommen, gemischt und abgewogen wurde. Die an mehreren Tagen ausgeführten Analysen ergaben so genaue Uebereinstimmungen, dass eine tägliche Untersuchung überflüssig erschien. Das Bier wurde für die ganze Versuchsreihe aus einer Tonne auf Flaschen gefüllt und jede Flasche vor und nach dem Trinken gewogen. In einer Durchnittsprobe wurde der Gehalt an Stickstoff, an Extract und an Alkohol festgestellt. Im Reis wurde nur der Wassergehalt, der Stickstoff und die Asche direct bestimmt. Die Milch wurde für die ganze Versuchsreihe aus einem Vorrath in der Bolle'schen Meierei in kleinere Flaschen gefüllt, sterilisirt und im Eisschrank aufbewahrt. In mehreren Proben wurde Stickstoff und Aetherextract ermittelt. Von dem Cognac wurde eine Probe abdestillirt und der Alkoholgehalt aus dem specifischen Gewicht berechnet. Die Stickstoffbestimmung im Rückstand ergab Spuren, welche auf die Tagesration etwa 5 mg entsprachen. Der als Würze benutzte Senf wurde täglich zurückgewogen und der Stickstoff der Tagesmenge,

welcher ± 9 mg betrug, in Rechnung gestellt. Dasselbe gilt für die Marmelade, welche pro Tag 23 mg N ausmachte. Von Kaffee wurde für beide Herren täglich von derselben Menge (13 g) 680 ccm Infus bereitet, welches 0,0188 pCt. N für die Tagesration des Einzelnen, also 64 mg N, enthielt. In der für die ganze Versuchsreihe angekauften und im Eisschrank aufbewahrten Butter wurden 84 pCt. Fett und 0,12 pCt. N festgestellt. Genauere analytische Belege geben wir im Anhang.

Die Gesammtergebnisse der Untersuchung der Nahrungsmittel finden sich übersichtlich in nachstehender Tabelle, in welcher gleichzeitig der Gehalt der Tagesration an Stickstoff, Fett, Kohlenhydraten und Alkohol angegeben ist.

Tabelle No. 1.

Benennung	Tagesmenge in Gramm	Procentgehalt an			In der Tagesportion Gramme			
		Fett	N	Kohlenhydraten	Fett	N	Kohlenhydrate	Alkohol
Fleisch . .	125	1,802	3,237	—	2,3	4,046	—	—
Wurst . .	150	50,09	3,253	—	75.1	4,880	—	—
Brod[1]) . .	350	0,366	1,075	56,14	1,2	3,762	196.5	—
Bier	1793	—	0,0761	6,7	—	1.364	120,0	68.85
Eigelb[2]) .	50	29,8	2,517	—	14,5	1,258	—	—
Kaffee . . .	—	—	—	—	—	0,064	—	—
Cognac . .	20	—	0,0084	—	—	0,002	—	8.45
Senf	1	—	0,942	—	—	0,009	—	—
Marmelade	50	—	0,046	60	—	0.023	28.5	—
Butter . .	100	84	0,12	—	84,0	0.120	—	—
Zucker . .	30	—	—	95	—	—	28.5	—
Durchschnittl. Tagesportion des Herrn B.					177,1	15.528	373.5	77.30
Ausserdem für Herrn P.								
Milch . . .	300	3,27	0.49	4,38	9,8	1.47	13.1	—
Reis	50	0,88	1,155	79,50	0.4	0,578	39.7	—
Durchschnittl. Tagesportion des Herrn P.					187,3	17,576	426,3	77.3

[1]) Die Analyse des Brodes wurde in der Art ausgeführt, dass ein grösseres Quantum Graubrod und Weissbrod im Verhältniss von 200:150 abgeschnitten, im Trockenschrank getrocknet und dann einige Zeit an der Luft aufbewahrt wurde. Die Tagesportion von 350 g lieferte so 245,95 g lufttrockene Substanz, welche gepulvert und zu den weiteren Analysen verwendet wurde. Die Procentzahlen obiger Tabelle sind auf das frische Brod umgerechnet.

[2]) Der Fettgehalt ist auf Grund anderweitiger Analysen geschätzt.

Für die einzelnen Tage ist zunächst für Herrn P. noch Folgendes nachzutragen.

Am ersten Versuchstage (22. Juni) nahm er 100 g Reis, ferner statt 1 g Senf 11 g mit einem Mehr von 0,095 g Stickstoff. Das Brod der ersten zwei Tage war etwas stickstoffärmer als der Durchschnitt der ganzen Versuchsreihe, wofür 0,076 g N in Abzug zu bringen sind, so dass die wirkliche Stickstoffeinnahme des ersten Tages 18,17 g, die Kohlenhydratmenge 466,1 g und die Fettmenge 187,3 g betrug.

Am 23. Juni wurden 50 g Reis und 9,5 g Senf genommen; der Kaffee fiel aus. Wir haben daher eine Gesammteinnahme von 17,52 g N, 187,3 g Fett und 426,4 g Kohlenhydraten.

Am 24. Juni übertrifft der Stickstoffgehalt der 350 g Brod den Durchschnitt um 0,076 g; die Senfmenge dieses Tages beträgt 8,5 g mit 0,08 g N; demnach ist die gesammte Stickstoffeinnahme 17,722 g; Fett und Kohlenhydrate wie am Tage vorher.

Der 25. Juni unterscheidet sich nur durch eine Minderaufnahme von 1 g Senf und hat daher nur 17,713 g N Zufuhr. Am 25. Juni Abends 10 Uhr wurden 10 Kohlenpastillen zur Abgrenzung des Kothes gegen die nun beginnende Marschperiode genommen.

Am 26. Juni, dem ersten Marschtage, wurden ausser der üblichen Tagesration 65 g Zucker genossen, welche gleich 61,8 g Stärke gerechnet werden, so dass an diesem Tage 488,2 g Kohlenhydrate gegeben wurden. Von Senf wurden 14 g. genommen, so dass die gesammte Stickstoffeinnahme 17,774 g betrug.

Am 27. Juni, dem zweiten Marschtage: 10 g Senf; 17,736 N-Aufnahme. Auf dem Marsche 30 g Zucker (= 28,5 g Stärke), also 454,9 g Kohlenhydrate im Ganzen.

Am 28. Juni 10,5 Senf; keine besondere Zuckeraufnahme, daher 17,742 g Stickstoff, 426,4 g Kohlenhydrate. Fett wie bisher und an allen folgenden Tagen 187,3 g. Abgrenzung dieser dreitägigen Arbeitsperiode durch 10 Kohlenpastillen um 12 Uhr Nachts.

Am 29. Juni: 9,5 g Senf, daher 17,732 g N, Fett und Kohlenhydrate wie gestern. An den folgenden 3 Tagen dieser viertägigen Ruheperiode kommen nur die minimalen Schwankungen in der Senfaufnahme mit ihrem Einfluss auf die Stickstoffzufuhr in Betracht (vergl. Tabelle 2, S. 166, Spalte 2).

Am 2. Juli Abends 10 Uhr zur Kothabgrenzung 10 Kohlenpastillen.

Während der Arbeitsperiode vom 3. bis 5. Juli einschliesslich wird noch immer die am 25. Juni in Angriff genommene Brodportion gereicht; daher abermals nur minimale Stickstoffschwankungen durch etwas wechselnde Senfportionen. Während dieser Märsche wurde kein Extra-Zucker genommen. Am 5. Juli Abends 10 Uhr Kothabgrenzung durch 10 Kohlenpastillen.

Die letzte Ruheperiode umfasste die drei Tage vom 6. bis 8. Juli einschliesslich. Während derselben kam ein anderes Brod zur Verwendung, dessen Stickstoffgehalt den Durchschnitt um 43 mg pro Tag übertraf. Hieraus und aus den bekannten Variationen der Senfaufnahme erklären sich die in Tabelle 2 eingetragenen Zahlen der Stickstoffeinnahme.

Schlussabgrenzung am 8. 7. Abends 11 Uhr durch 250 g Johannisbeeren und 7 Kohlenpastillen.

Herr B. nahm im Allgemeinen dieselbe Kost und zu denselben Zeiten wie Herr P., aber nur am ersten Tage Milch und Reis. Er konnte den Reis nur mit Widerwillen geniessen und auch für die Milch empfand er nur wenig Neigung. Da es ausserdem rationell erschien, ihm bei seinem um 5 kg niedrigeren Körpergewicht etwas weniger als Herrn P. zu geben, wurde vom zweiten Tage ab Milch und Reis fortgelassen. Seine so festgestellte Durchschnittsnahrung lieferte ihm, wie in Tabelle 1, S. 162 berechnet,

177,1 g Fett, 15,528 g N, 373,5 g Kohlenhydrate, 77,3 Alkohol.

Hierzu kommen am 22. Juni in

150 g Milch:	4,9 g Fett,	0,735 g N,	6,6 g	Kohlenhydrate,
100 g Reis:	0,9 g „	1,155 g N,	79,5 g	„
In Summa	182,9 g Fett,	17,418 g N,	459,6 g	Kohlenhydrate,
			77,3 g	Alkohol.

Das Brod der ersten zwei Tage war um 0,076 g N ärmer als der Durchschnitt; ausserdem wurde an diesem Tage kein Senf genommen, so dass im Ganzen 0,085 g N abgehen, die Einnahme an diesem Tage 17,333 g N betrug.

Am 23. Juni fiel der Morgenkaffee mit 0,064 g N aus, ferner ist auch an diesem Tage ein Minus von 0,076 g N im Brod zu rechnen.

Endlich wurde kein Senf genommen = Minus 0,009 g N.

Der Gesammtabzug beträgt daher 0,149 g, so dass die wirkliche Einnahme 15,379 g beträgt.

Am 24. Juni stimmte die Nahrungsaufnahme genau mit der Tabelle 1 überein, doch ist der Stickstoffgehalt des Brodes von diesem Tage ab bis zum 5. Juli einschliesslich um 0,076 g höher als der in der Tabelle angesetzte Durchschnitt von 3,762 g. Wir haben daher eine Tageseinnahme von 15,604 g N. Diese Zahl ändert sich bis zum 5. Juli nur um Centigramme entsprechend der etwas wechselnden Aufnahme von Senf. Die Zufuhr von Fett, Kohlenhydraten und Alkohol ist eine absolut gleichmässige. Am 6. Juli und den beiden folgenden Tagen übertrifft der Stickstoffgehalt des Brodes den Durchschnitt der Tabelle um 0,119 g. Da ausserdem 1,5 g Senf mehr genommen sind, haben wir an diesem Tage eine Stickstoffeinnahme von 15,66 g zu verzeichnen.

Am 7. Juli wurde kein Senf genommen, daher 15,638 g Stickstoffaufnahme. Die für den 8. Juli bestimmte Fleischportion erwies sich ebenso wie eine noch vorhandene Reserveportion als ungeniessbar, sodass an diesem Tage die 4,046 g N des Fleisches, ebenso wie 0,009 g des Senfes ausfielen. Wir haben daher an diesem Tage nur eine Einnahme von 11,592 g N. Die Abgrenzung des Kothes wurde wie bei P. zwischen den einzelnen Versuchsreihen durch Kohlenpastillen bewirkt. Dieselben gaben durchgehends eine gute Abgrenzung, indem einerseits der Anfangskoth jeder neuen Reihe diffus schwarz gefärbt war, andererseits einige grössere Trümmer der Pastillen in demselben sich fanden. Die Schlussabgrenzung wurde auch hier durch eine grössere Gabe Johannisbeeren noch schärfer gestaltet. Jede einzelne Portion des Kothes wurde in gewogenen weiten Präparatengläsern mit eingeschliffenen Glasstöpseln aufgefangen und gewogen. Vor dem Trocknen wurde der Koth mit ein wenig verdünnter Schwefelsäure durchmischt.

Die Gesammtresultate der Bilanzversuche an beiden Herren geben wir in den folgenden zwei grossen Uebersichtstabellen. (No. 2 und 3.)

Die Stäbe 2—6 enthalten die vorstehend bereits besprochenen täglichen Einnahmen von den Hauptnährstoffen. Die Zahl für Eiweiss in Stab 3 ist durch Multiplication des N mit 6,25 gewonnen worden, ebenso wie in Stab 8 im Bewusstsein der nur bedingten Gültigkeit dieser Zahl. In

Tabelle No. 2. Bila

Datum des Versuchstages	Einnahmen					Ausgaben im Koth					Stickstoff im Harn	R	
	Stickstoff	Eiweiss	Fett	Kohlenhydrate als Stärke berechnet	Alkohol	Stickstoff	Eiweiss	Fett	Asche	Rest als Kohlenhydrat berechnet		Stickstoff	Eiweiss
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
22. 6.	[18,172	113,56	187,3	466,1	77,30]							—	—
23. 6.	17,516	109,46	187,3	426,4	77,30						15.54	—	—
24. 6.	17,722	110,76	187,3	426.4	77,30	2,058	12,86	5,585	2,945	7.10	12,35	—	
25. 6.	17,713	110,66	187,3	426,4	77,30						12,43	—	—
	52,95	—	—	—	—	**6.17**	**38.58**	—	—	—	**40.32**	46.78	292.4
26. 6.	17,774	111,06	187.3	488,2	77,30						13,45	—	—
27. 6.	17,736	110,86	187,3	454,9	77,30	2.352	14.70	5.477	2,303	9.77	15.37	—	—
28. 6.	17,742	110,86	187,3	426,4	77.30						15,58	—	—
											Schweiss 2.165		
	53,25	—	—	—	—	**7,056**	**44,10**	—	—	—	**46.56**	46.19	288.7
29. 6.	17,732	110,86	187,3	426,4	77,30						15.69	—	—
30. 6.	17,767	111,04	187.3	426,4	77,30						13.73	—	—
1. 7.	17,774	111,08	187.3	426,4	77.30	1,684	10,525	3,778	2,024	5.46	12.85	16,07	—
2. 7.	17,736	110,85	187,3	426,4	77,30						13.41	—	—
	71,01	—	—	—	—	**6,736**	**42.100**	—	—	—	**55.68**	64.27	401.7
3. 7.	17,736	110,85	187,3	426,4	77,30						14.68	—	—
4. 7.	17,762	111,01	187,3	426,4	77,30	2,439	15.24	6,136	2.482	7,45	16.92	15.31	—
5. 7.	17,762	111,01	187,3	426,4	77,30						16.26		—
											Schweiss 2.208		
	53,26	—	—	—	—	**7,317**	**49,89**	**18.41**	—	—	**50,07**	45.94	282.98
6. 7.	17,798	111,24	187.3	426.4	77,30						16.56	—	—
7. 7.	17,770	111,06	187.3	426,4	77.30	2,316	14,475	6,32	2.66	8,26	14.49	15.46	—
8. 7.	17,770	111,06	187,3	426,4	77.30						13.89	—	—
	53,34	—	—	—	—	**6.947**	**43,425**	—	—	—	**44.94**	46.39	289.93

1) Vom Alkohol 8 pCt. Verlust angenommen.

s t e h an Herrn P.

bir t								Stickstoff im Körper				
Fett	Kohlenhydrat	Alkohol[1])	Calorisches Aequivalent des Resorbirten	Bewegung im Laufe des Tages laut Schrittzähler	Calorisches Aequivalent der Schritte	Calorisches Aequivalent der Marschleistung	Tagesbedarf an Energie einschliessl. Ruheverbrauch Calorien	angesetzt	verloren	Fleischansatz	Fleischverlust	Berechnete Gewichtsänderung
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
				—	—	—	—	—	—	—	—	—
				—	—	—	—	—	—	—	—	—
›1,7	419,3	71,12	4390	—	—	—	3101	—	—	—	—	—
				—	—	—	—	—	—	—	—	—
45.14	1257,9	213,4	13170	—	—	—	9303	6,46	—	194	—	+623
	478,4		4633	—	—	1722	4474	—	—	—	—	—
›1.82	445.1	71,12	4494	—	—	1700	4452	—	—	—	—	—
	416.6		4375	—	—	1643	4395	—	—	—	—	—
45.47	1340.1	213.4	13502	—	—	—	13321	—	0,37	—	11	+ 11
				8500	152	—	—	—	—	—	—	—
				14300	256	—	—	—	—	—	—	—
›3.5	420,9	71,12	4426	10700	191	—	3101	—	—	—	—	—
				16500	295	—	—	—	—	—	—	—
34.09	1683,6	284,5	17706	—	—	—	12404	8,59	—	258	—	+848
				8500	152	1376	4128	—	—	—	—	—
›1.2	420.3	71,12	4382	5800	104	1405	4157	—	—	—	—	—
				7346	131	1359	4111	—	—	—	—	—
13.48	1260.9	213.4	13145	—	—	—	12396	—	4,13	—	124	— 24
				19950	357	—	—	—	—	—	—	—
›1.0	418,1	71,12	4375	15350	274	—	3101	—	—	—	—	—
				—	—	—	—	—	—	—	—	—
12.94	1254,4	213,4	13124	—	—	—	9303	1,45	—	43	—	+483

Tabelle No. 3. Bilanz

Datum des Versuchstages	Einnahmen					Ausgaben in Koth					Stickstoff im Harn
	Stickstoff	Eiweiss	Fett	Kohlenhydrate als Stärke berechnet	Alkohol	Stickstoff	Eiweiss	Fett	Asche	Rest als Kohlenhydrate berechnet	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
22. 6.	[17,33	108,44	182,9	459,6]	—						—
23. 6.	15,38	96,126	177,05	373,5	77,30	1,305	8.156	5.71	1,64	5.92	10.82
24. 6.	15,60	97,50	177,05	373,5	77,30						9.33
25. 6.	15,60	97.50	177,05	373,5	77,30						9.79
	46,58	—	—	—	—	**3.915**	**24,468**	—	—	—	**29.94**
26. 6.	15,63	97,688	177,05	373.5	77,30						10.25
27. 6.	15,60	97,50	177,05	373,5	77,30	2.062	12,89	7.41	2,39	8,54	12.22
28. 6.	15,60	97,50	177,05	373,5	77,30						11.04
											Schweiss 1.046
	46.83	—	—	—	—	**6.186**	**38,67**	—	—	—	**34.556**
29. 6.	15,63	97,688	177,05	373,5	77,30						12.22
30. 6.[1]	15,65	97,812	177,05	373,5	77,30						12,61
1. 7.	15,63	97,688	177,05	373.5	77.30	2.325	14.53	12,57	2,57	7.7	9.70
2. 7.	15,63	97,688	177,05	373,5	77,30						11.90
	62,54	—	—	—	—	**9,300**	**57,68**	—	—	—	**46.43**
3. 7.	15,60	97,50	177,05	373,5	77,30						11.67
4. 7.	15,61	97.562	177,05	373,5	77,30	1,803	11.27	6.22	1.86	6.27	12.54
5. 7.	15,60	97.50	177.05	373,5	77,30						11.89
											Schweiss 1.198
	46,81	—	—	—	—	**5.409**	**33,81**	—	—	—	**37.30**
6. 7.	(15.66)	97,875	177,05	373,5	77,30						—
7. 7.	15,64	97,75	177,05	373,5	77,30	2,919	18,24	8.33	3,04	9,02	11.32
8. 7.	11,60	72,50	174,8	373,5	77,30						9.59
	27,24	—	—	—	—	**5.838**	**36.48**	—	—	—	**20.91**

[1]) Am 30. Juni geringer Appetit wegen grosser Hitze.
[2]) Vom Alkohol 8 pCt. Verlust angenommen.

'such an Herrn B.

	Resorbirt											
	Eiweiss	Fett	Kohlenhydrate	Alkohol[2])	Calorisches Aequivalent des Resorbirten	Bewegung im Laufe des Tages laut Schrittzähler	Calorisches Aequivalent d. Schritte	Calorisches Aequivalent der Marschleistung	Tagesbedarf an Energie einschl. Ruheverbrauch Calorien	Stickstoff im Körper angesetzt	Fleischansatz	Berechnete Gewichtsänderung Calor.
3	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	25	27
–					—	—	—	—	—	—	—	—
07	87,94	171,34	367.57	71,12	4033,95	—	—	—	2924	—	—	—
30					—	—	—	—	—	—	—	—
30					—	6000	104	—	—	—	—	—
665	266,66	514,02	1102,7	213,4	12116	—	—	—	8772	12,725	382	+731
–					—	—	—	1522	4155	—	—	—
–	—	169.64	364.96	—	3965.76	9600	166	—	2924	—	—	—
–					—	—	—	1718	4351	—	—	—
644	254,03	508,92	1094,9	213,4	11981	—	—	—	11430	6,088	183	+228
–	—	—	—	—	—	13000	224	—	—	—	—	—
–	—	—	—	—	—	11000	190	—	2924	—	—	—
–	—	164,48	365,73	—	3901.38	9500	165	—	—	—	—	—
–	—	—	—	—	—	13000	224	—	—	—	—	—
.24	332.75	657,9	1462,9	284.5	15766	—	—	—	11696	6,81	204	+656
–	—	—	—	—	—	—	—	1508	4141	—	—	—
–	—	170.83	367,23	—	4036.46	6600	114	—	2924	—	—	—
–	—	—	—	—	—	—	—	1568	4201	—	—	—
,40	258,8	512,49	1101,7	213.4	12063	—	—	—	11266	4,10	123	+203
–	—	—	—	—	—	19000	329	—	(2924)	—	—	—
72	—	168,72	364,5	71,12	3961	18000	311	—	2924	—	—	—
38	—	166.47	364,5	71,12	3831	—	—	—	2904	—	—	—
0	133.75	335.19	729.0	142.2	7792	—	—	—	5828	—	15	+242

Stab 5 sind ebenso wie in der analytischen Uebersichtstabelle No. 1, S. 162 die Kohlenhydrate als Stärke berechnet. Zu diesem Behufe wurden die Mengen des Rohrzuckers und des N-freien Extractes im Bier, welches ja zum grössten Theil aus Maltose neben geringeren Mengen Dextrin besteht, dadurch auf Stärke reducirt, dass (weil auf 324 Gewichtstheile Stärke ein Molekül = 18 Gewichtstheile Wasser aufgenommen werden, um daraus Zucker der Formel $C_{12}H_{22}O_{11}$ zu bilden) $^1/_{19}$ des Zuckergewichts in Abzug kam.

Der Alkohol (siehe Stab 17) ist zwar nahezu als vollkommen resorbirbar anzunehmen. Es haben aber die Versuche von Binz und seinen Schülern sowie von Strassmann (Pflüger's Arch. 49. S. 327) gezeigt, dass sowohl mit dem Harn wie mit der Athemluft geringe Mengen Alkohol verloren gehen, die man auf etwa 8 pCt. der Einnahme taxiren kann. Wir haben an diesen Zahlen festgehalten, trotzdem in neuester Zeit Atwater und Benedict eine vollkommenere Verwerthung des Alkohols bis auf etwa 2 pCt. in ihren Respirationsversuchen gefunden haben. Die Abweichung der Ergebnisse der amerikanischen Forscher von unseren Annahmen würde übrigens nur einen Unterschied in der täglichen Energiezufuhr von 28 Calorien bedeuten. Im Uebrigen ist das in Stab 18 aufgestellte calorische Aequivalent der gesammten resorbirten Nahrung in der Art berechnet worden, dass

für den Stickstoff . . .	26,7	Calorien	per g
„ das Fett	9,46	„	„ „
„ „ Kohlenhydrat . .	4,19	„	„ „
„ den Alkohol	7,00	„	„ „

in Rechnung gestellt wurden.

Diesem Energiewerth der resorbirten Nahrung haben wir den Energieverbrauch des Körpers gegenüber zu stellen, um zu ermitteln, wie weit der Stoffbedarf des Körpers durch die Nahrung gedeckt ist. Direct bestimmt haben wir in unseren Respirationsversuchen den Körperumsatz im Zustand absoluter Ruhe. Es kommen für diese Bestimmungen bei P. folgende Ergebnisse der Respirationsversuche in Betracht.

1. Im Zustand absoluter Nüchternheit wurde der Gaswechsel am 25. Juni zwischen 7 und 8 Uhr bestimmt. Die Zahlen waren:

242,3 ccm Sauerstoffverbrauch, 210,5 ccm CO_2, 0,87 RQ.
242,4 „ „ 207,9 „ „ 0,86 „ .

Um aus diesen Zahlen den Gaswechsel in 24stündigem Durchschnitt zu berechnen, können wir uns an die Ergebnisse halten, welche Magnus-Levy (Pflüger's Archiv 55. S. 89ff) bei Anwendung der gleichen Untersuchungsmethode über die Steigerung des Nüchtern-Gaswechsels durch die Verdauungsthätigkeit gewonnen hat. Er fand im Durchschnitt von 3 eine 24stündige Periode umfassenden Versuchen, dass unter dem Einfluss einer Kost, welche im Mittel 2233 Calorien in resorbirten Nährstoffen dem Körper zuführte, die Sauerstoffaufnahme während 14 Stunden um durchschnittlich 21 pCt., die CO_2-Production um durchschnittlich 28 pCt. den Nüchternwerth überstieg. Das bedeutet auf die 24stündige Periode vertheilt einen Zuwachs des Sauerstoffs von

$$\frac{14 \times 21}{24} = 12{,}2\,\text{pCt.}$$

und einen Zuwachs der Kohlensäure um

$$\frac{14 \times 28}{24} = 16{,}3\,\text{pCt.}$$

In unseren Versuchen haben wir der höheren Nahrungsaufnahme entsprechend eine grössere Steigerung in Rechnung zu stellen. Da der Antheil des Fettes, welches nach den Erfahrungen von Magnus-Levy eine viel geringere Verdauungsarbeit bedingt, als Kohlenhydrate und Eiweiss, in unseren Versuchen ungefähr derselbe ist, wie in denen von Magnus-Levy, können wir diesen Zuwachs der Energiezufuhr proportional berechnen. Bei P. wurden im Mittel täglich 4388 Calorien resorbirt. Wir haben also die Steigerung durch die Verdauungsarbeit zu

$$\frac{4388 \,.\, 12{,}2}{2233} = 24{,}0\,\text{pCt. } O_2 \text{ sowie } \frac{4388 \,.\, 16{,}3}{2233} = 32{,}0\,\text{pCt. } CO_2$$

zu rechnen.

Wir berechnen so den 24stündigen Durchschnitt des Sauerstoffverbrauchs in absoluter Ruhe zu $242{,}35 \times 1{,}24 = 300{,}5$ ccm, denjenigen der Kohlensäureausscheidung zu $209{,}2 \times 1{,}32 = 276{,}1$ ccm. Der respiratorische Quotient hieraus ist 0,919.

Mit diesen aus dem Nüchternwerth, mit Hilfe der von Magnus-Levy gefundenen Zahlen für die Verdauungsarbeit berechneten Durchschnittswerthen wollen wir nun das Mittel

der zu verschiedenen Tagesstunden im Laufe des Stoffwechselversuchs ausgeführten Respirationsversuche vergleichen. Es sind folgende:

23. Juni, 1 Stunde nach dem Frühstück.			
8 Uhr 56 Min.	301,9 ccm O_2	257,5 ccm CO_2	0,86 RQ
9 „ 8 „	295,1 „ „	259,5 „ „	0,88 „
9 „ 19 „	313,1 „ „	268,2 „ „	0,84 „
25. Juni, absolut nüchtern.			
7 Uhr 27 Min.	242,3 ccm O_2	210,5 ccm CO_2	0,87 RQ
7 „ 41 „	242,4 „ „	207,9 „ „	0,86 „
29. Juni, 3 Stunden nach dem Frühstück.			
10 Uhr 54 Min.	279,0 ccm O_2	231,4 ccm CO_2	0,83 RQ
11 „ 8 „	290,8 „ „	235,2 „ „	0,88 „
30. Juni, 1 Stunde nach dem Frühstück.			
9 Uhr 42 Min.	322,7 ccm O_2	285,4 ccm CO_2	0,88 RQ
9 „ 58 „	292,9 „ „	248,8 „ „	0,85 „
6. Juli, 2 Stunden nach dem Frühstück.			
9 Uhr 48 Min.	298,0 ccm O_2	243,6 ccm CO_2	0,82 RQ
7. Juli, 1½ Stunden nach dem Mittagessen.			
2 Uhr 46 Min.	350,6 ccm O_2	278,6 ccm CO_2	0,79 RQ
2 „ 57 „	338,4 „ „	260,4 „ „	0,77 „
3 „ 36 „	347,9 „ „	261,3 „ „	0,75 „
Mittelwerthe:	301.2 ccm O_2	249,9 ccm CO_2	0,84 RQ

Das Mittel unserer zu verschiedenen Tageszeiten angestellten Versuche stimmt, wie man sieht, in Bezug auf den Sauerstoffverbrauch fast absolut überein mit der Zahl, welche wir aus dem Nüchternwerth unter Zurechnung der Verdauungsarbeit berechnet haben. Die Kohlensäurebildung finden wir dagegen erheblich niedriger. Das hat seinen Grund in dem grösseren Alkoholconsum, welcher bei P. 77 g, bei Magnus-Levy's Versuchsperson nur 22 beträgt. Da Alkohol sich nach der Formel $C_2H_6O + O_6 = 2\,CO_2 + 3\,H_2O$ oxydirt, liefert er 4 Volumina CO_2 auf 6 Volumina eingeathmeten Sauerstoffs. Der respiratorische Quotient bei seiner Verbrennung ist also $^4/_6 = 0{,}67$, wogegen Kohlenhydrate bekanntlich den respiratorischen Quotienten 1,0 liefern.

Die Bedeutung der 4 bei unseren Versuchen in Betracht kommenden Nährstoffe für Sauerstoffverbrauch, CO_2-Bildung und Wärmeproduction drückt sich in folgenden Zahlen[1]) aus:

[1]) Siehe Zuntz. Pflüger's Arch. 68. S. 201—204.

	O_2			CO_2			Calorien	
Eiweiss (Fleisch) braucht	1,319	g,	liefert	1,438	g	und	4,128	
N im Harn entspricht	6,064	l,	„	4,809	l	„	27,14	RQ = 0,793
Fett . . . . . =	2,019	l,	„	1,427	l	„	9,461	RQ = 0,707
Stärke . . . . . =	0,8288	l.	„	0,8288	l	„	4,182	RQ = 1,00
Alkohol[1]) . . . . =	2,087	g,	„	1,913	g	„	7.00	
„ . . . . . =	1,459	l,	„	0,9729	l	„		RQ = 0,667

Hieraus ergiebt sich als calorischer Werth von 1 l eingeathmeten Sauerstoffs

bei	Eiweissverbrennung . .	4,476 Calorien
„	Fettverbrennung . . .	4,686 „
„	Stärkeverbrennung . .	5,047 „
„	Alkoholverbrennung . .	4,798 „

Aus vorstehenden Zahlen lässt sich folgern, dass man keinen grossen Fehler begeht, wenn man bei der Kost unserer Versuchspersonen, die einen so grossen Ueberschuss an Nährstoffen enthielt, dass das Fett — wie wir nachher sehen werden — grösstentheils angesetzt werden konnte, annimmt, dass die Wärmeentwickelung pro Liter Sauerstoff 4,9 Calorien betrug.

Es würde demgemäss die Kraftproduction von P. in absoluter Ruhe pro Minute $0{,}301 \times 4{,}9 = 1{,}475$ Calorien betragen, also pro Tag 2124 Calorien, das heisst bei einem durchschnittlichen Gewicht von 67 kg 31,7 Calorien pro Körperkilo. Dieser der absoluten Ruhe entsprechende Energieverbrauch wird nun durch die auch ohne eigentlich anstrengende Arbeitsleistung sehr erhebliche Arbeit, welche die aufrechte Körperhaltung, das Umhergehen während des Tages und allerhand kleine Hantirungen bedingen, erheblich gesteigert. Um wenigstens einen Theil dieser Arbeitsleistungen abschätzen zu können, trugen unsere Versuchspersonen einen Schrittzähler, dessen Angaben in Columne 19 aufgezeichnet sind. Unter der Annahme, dass bequeme Schritte, wie sie im Hause und auf kleinen Spaziergängen gemacht werden, etwa einen halben Meter fördern, lässt sich die hierfür aufgewendete Arbeit nach den Erfahrungen bei den Marschirversuchen taxiren. Aus denselben ergiebt sich, wie in Cap. IV c dieser Arbeit ausgeführt ist, der Verbrauch für die Horizontalbewegung von 1 kg um 1 m zu 0,51 calorien. Der mit den Kleidern etwa 70 kg wiegende P. braucht also für jeden Schritt $\frac{0{,}51 \times 70}{2} = 17{,}87$ calorien. Durch Multiplication dieser

[1]) Zuntz u. Magnus-Levy. Pflüger's Arch. 49. S. 445.

Zahl mit der Anzahl der Schritte ist das calorische Aequivalent der Schritte in Stab 20 berechnet. Im Mittel der 6 Ruhetage, an welchen der Schrittmesser angelegt war, beträgt diese Zahl 254 Calorien, im Mittel der 3 Marschtage, an welchen der Schrittmesser während des Marsches nicht benutzt wurde, 129 Calorien. Man sieht aus diesen Zahlen zunächst, dass sich P. nach Beendigung der Märsche an den Marschtagen viel ruhiger hielt, als an den Ruhetagen. Die Steigerung um 254 Calorien = 12 pCt. des Ruhewerthes, welche wir auf Grund der gemessenen Schritte berechnen, giebt aber sicherlich noch keine genügende Vorstellung von dem ganzen Kraftverbrauch durch Muskelthätigkeit.

Wir wissen aus den Versuchen von Katzenstein, dass beim aufrechten Stehen je nach der Haltung 10—20 pCt. mehr Sauerstoff gebraucht werden, als im Liegen. Dazu kommt die Thätigkeit der Hände, von deren Bedeutung für den gesammten Stoffumsatz uns namentlich die Respirationsversuche von Wolpert unter Rubner's Leitung an Leuten, welche handwerksmässige Berufsarbeit ausübten, Aufschluss geben. Gegen gewöhnliche Ruhe war die CO_2-Ausscheidung gesteigert:

Bei einer	Handnäherin	um	13 pCt.,
bei einem	Schreiber	„	17 pCt.,
„ „	Schneider	„	22 pCt.,
„ „	Damenschuhmacher	um	47 pCt.

Ganz im Sinne dieser Ueberlegungen ergab sich ein sehr erheblicher Unterschied zwischen Schlaf, der, wie Loewy nachgewiesen hat, keinen niedrigeren Verbrauch hat, wie unsere absolute Ruhe und zwischen der Willkür überlassenem ruhigen Verhalten. Johansson[1]) fand die Kohlensäureausscheidung per Stunde im Schlaf = 22 g, bei behaglicher Ruhe im wachen Zustande = 31 g. Rechnen wir nun für unseren Versuchsmann 8 Stunden Schlaf $= 8 \times 22 = 176$ g CO_2.
16 Stunden relativer Ruhe . . . $= 16 \times 31 = 496$ g „
und hierzu während 8 Stunden noch die Steigerung, wie sie der Beschäftigung eines Schneiders oder Schreibers entspricht . . . $= \frac{8 \times 31}{5} = 50$ g „
ferner für 1 Stunde bequemen Gehens etwa $= 48$ g „
so hätten wir eine Tagesausscheidung von 770 g CO_2.
Das macht pro Stunde 32,1 g

[1]) Nord Medicinsket Arkiv. Festband f. Axel Key. S.-A. S. 9.

Das heisst gegenüber der Production von 22 g in absoluter Ruhe eine Steigerung um 46 pCt. Eine ähnliche Steigerung ergiebt sich, wenn wir in den Calorimeter-Versuchen am Menschen von Atwater und Benedict[1]), in welchen die Wärmeproduction für sechsstündige Perioden ermittelt wurde, die Periode geringsten Verbrauches (Nachts im Schlaf) mit dem vierundzwanzigstündigen Durchschnitt vergleichen. Der letztere ist um 37,2 bis 45 pCt., im Mittel der 4 Versuche um 40,5 pCt. höher als im Schlafe. Da sich der Mensch hierbei dauernd in einem engen Apparate eingeschlossen befand, in welchem er bei Beobachtung der Messapparate und Ausführung der nöthigen Notizen nur sehr wenig Bewegung hatte, so dürfen wir wohl annehmen, dass er unter den Verhältnissen des gewöhnlichen Lebens noch 5 bis 6 pCt. mehr Energie verbraucht hätte. Wir kommen also auch hier zu 46 pCt. Steigerung gegenüber der absoluten Ruhe und dürfen eine solche daher auch für unsere Versuchspersonen als Minimalwerth annehmen. Wir würden also den Tagesbedarf von P. an den Ruhetagen zu

$$2124 + 46/100 \times 2124 = 3101 \text{ Calorien}$$

anzunehmen haben.

Da an den Arbeitstagen der Schrittmesser einen Minderverbrauch durch Gehen von 125 Calorien nachweist, da ferner während der 5 Stunden des Marsches die ganze Steigerung gegenüber absoluter Ruhe messend festgestellt ist, müssen wir für diese Marschtage den Ruheverbrauch entsprechend geringer ansetzen.

Wir ziehen also vom vierundzwanzigstündigen Verbrauch . . . . . = 3101 Calorien
ab den Verbrauch von 5 Stunden . . . = 667 „
Bleibt = 2434 Calorien,

und addiren den absoluten Ruhewerth für
5 Stunden . . . . . = 443 „
macht 2877 Calorien.

Da ferner der Schrittmesser im Durchschnitt der Marschtage 125 Calorien Minderleistung ergiebt, ziehen wir diese noch ab: also Ruhestoffwechsel an den Marschtagen 2752 Calorien.

In Columne 21 ist für die Marschtage der aus den

[1]) Bulletin of experimental stations. No. 63.

Respirationsversuchen in der später darzulegenden Weise berechnete Kraftaufwand für die Marschleistungen angegeben. Dieser ergiebt zusammen mit dem soeben berechneten übrigen Tagesbedarf den gesammten Verbrauch ausgedrückt in Calorien (Stab 22).

Die Stäbe 23 und 24 ergeben durch Subtraction des in Stab 12 angegebenen Harnstickstoffs von dem resorbirten Stickstoff (Stab 13) den Ansatz bezw. den Verlust von Stickstoff seitens des Körpers. Stab 25 und 26 geben den durch Multiplikation des N mit 30 berechneten Gewinn beziehungsweise Verlust des Körpers an Fleisch. Hieraus ist endlich in Stab 27 die theoretische Gewichtsänderung des Körpers für jede Versuchsperiode in der Art berechnet, dass zunächst die dem Fleischansatz beziehungsweise -Verlust entsprechende Gewichtsänderung in Anschlag kommt. Dem Ansatz beziehungsweise Verbrauch von 1 g N entspricht eine aufgespeicherte beziehungsweise abgegebene Energiemenge von 27 Calorien. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes wird die Differenz von Energiezufuhr (Stab 18) und Energieverbrauch (Stab 22) ermittelt. Dieser Differenz entspricht der Ansatz beziehungsweise Verbrauch von Fett am Körper, wobei 1 g Fett = 9,46 Calorien gerechnet wird. Da aber das Fettgewebe etwa 10 pCt. Wasser enthält, entspricht 1 g Fettansatz einer Gewichtszunahme von 1,1 g, oder 1 g Gewichtszunahme = 8,6 Calorien.

Als Beispiel geben wir die Berechnung der theoretischen Gewichtsänderung für die 3 Tage vom 23. Juni bis 26. Juni. Der Tagesbedarf an Energie beträgt für

diese drei Ruhetage . . .	3×3101 =	9303 Calorien.
Die Nahrung enthielt im Ganzen laut Stab 18	13170 „	
Im Körper zum Ansatz gekommen . .		3867 Calorien.
Es wurden laut Stab 23 angesetzt 6,46 g N entsprechend	174 „	
Es müssen deshalb in Form von Fett angesetzt sein		3693 Calorien.
Da 8,6 Calorien 1 g angesetzten Fettgewebes entsprechen, ist angesetzt		429 g
Ferner $30 \times 6{,}46$ g N ergiebt als Fleischansatz .		194 g
Somit Gewichtszunahme in den ersten 3 Ruhetagen		623 g

In gleicher Weise wurden die Zahlen von Stab 27 für die Gewichtsänderungen in den folgenden Perioden berechnet. Zum Vergleich mit diesen aus dem Stoffwechsel berechneten Gewichtsänderungen stehen uns folgende Wägungen von P. zur Verfügung, wobei von dem Nacktgewicht das Gewicht der kurz vor der Wägung aufgenommenen Nahrung abgezogen ist.

21. Juni früh	66,025
26. „ „	67,400
27. „ „	66,350
28. „ „	65,655
3. Juli „	67,210
4. „ „	66,285
5. „ „	66,760
9. „ „	66,880

Die Anfangs- und Schlusswägung sind darum nicht ohne Weiteres vergleichbar, weil der ersteren zwei Marschtage, der letzteren drei Ruhetage vorangingen. Dagegen sind die Körperwägungen vom 21. Juni und 5. Juli auch insofern vergleichbar, als ihnen je 2 Marschtage unmittelbar vorangingen. Die etwaigen Wirkungen dieser Marschtage auf den Wassergehalt des Körpers und auf den Füllungszustand des Darmkanals haben also bei diesen beiden Wägungen in gleichem Sinne sich geltend gemacht. Der gefundenen Gewichtszunahme von 735 g steht eine aus Stab 27 berechnete von 1458 g gegenüber. Für den 22. Juni, an welchem Tage auch schon zugewogene Kost und sogar noch um etwa 167 Calorieen reichlicher verbraucht wurde, müssen wir noch etwa 200 g Ansatz rechnen, so dass einem berechneten Ansatz von 1658 eine Gewichtszunahme von nur 735 g gegenübersteht. Für die ganze Versuchsreihe haben wir vom 21. Juni bis zum 9. Juli früh einen berechneten Ansatz von 2141, während die Gewichtszunahme nur 855 g beträgt. Eigentlich war sie noch etwas geringer, denn der Wägung am 21. Juni gingen zwei Marschtage voran, welche eine wahrscheinlich noch nicht ganz ausgeglichene Wasserverminderung des Körpers bewirkt hatten, wie aus dem Folgenden hervorgeht.

Für die beiden dreitägigen Marschperioden haben wir minimale Gewichtsänderungen aus dem Stoffwechsel berechnet; in Wirklichkeit fanden erhebliche Abnahmen statt:

Vom 26. Juni bis 28. Juni = 1745 g,
„ 3. Juli „ 5. Juli = 450 g.

Da gerade für diese Tage der Stoffverbrauch durch die Respirationsversuche sehr genau bestimmt ist, können wir nicht annehmen, dass der Fettverbrauch so viel grösser als der berechnete war. Die Gewichtsänderung muss vielmehr grösstentheils darauf bezogen werden, dass die erheblichen Wasserverluste des Körpers auf den Märschen bis zum anderen Morgen nicht vollkommen ausgeglichen waren. Diese Annahme findet in unseren Bestimmungen der Blutdichte und der Zahl der rothen Blutkörperchen, sowie in unseren Beobachtungen über die diuretische Wirkung der Märsche eine Stütze. Bei mehreren aufeinanderfolgenden Märschen war das vor Antritt des Marsches bestimmte specifische Gewicht des Blutes am Tage nachher 10mal erhöht, 9mal unverändert und nur 7mal vermindert. Die Erhöhungen waren ausserdem viel erheblicher als die Abnahmen, so dass sich im Mittel eine Zunahme des specifischen Gewichts um 0,32 Einheiten ergiebt. Die Berechnung der Abweichungen vom Mittel ergiebt einen wahrscheinlichen Fehler von $\pm$ 0,135. Die Zunahme übersteigt also erheblich die Fehlergrenze. Das gleiche Resultat ergiebt die allerdings geringere Zahl der Blutkörperchenzählungen.

Wir haben fünfmal erhebliche Zunahmen, siebenmal geringe Abnahmen, im Mittel eine Zunahme um 37000 mit einem wahrscheinlichen Fehler von $\pm$ 24800.

Wir dürfen es hiernach als unzweifelhaft hinstellen, dass der Wasserverlust des Körpers auf einem anstrengenden Marsche nach 24 Stunden meist noch nicht vollkommen ausgeglichen ist.

Einwandsfrei erscheint noch der Vergleich der Wägungen vom 26. Juni und 3. Juli, welchen beiden mehrere Ruhetage vorangingen; wir haben hier für 7 Tage, wovon 3 Marschtage mit schwerem Gepäck, 4 Ruhetage sind, eine Abnahme des Körpergewichts um 190 g, während wir aus den Stoffwechseldaten eine Zunahme um 859 berechnet haben. Alle diese Erwägungen sprechen dafür, dass wir die Steigerung des Stoffwechsels durch die Bewegungen des täglichen Lebens noch unterschätzt haben, als wir für sie 46 pCt. des Verbrauchs in absoluter Ruhe annahmen. Wir kommen hierauf nach Besprechung des Bilanzversuchs an B., zu der wir uns jetzt wenden, zurück.

Morgens früh nüchtern am 7. Juli wurden 2 Respirationsversuche an B. ausgeführt. Sie ergaben:

1.	7 Uhr	44 Min.:	250.4	O-Verbrauch,	210,6	CO_2 exspirirt,	0,84	RQ,
2.	7 „	57 „	247,8	„	205,1	„ „	0,83	„
		Mittel	**249,1**	O-Verbrauch,	**207,9**	CO_2 exspirirt,	**0,835**	RQ.

Vorstehende 2 Versuche repräsentiren wahrscheinlich nicht den Zustand voller Nüchternheit. Es war nämlich am Abend vorher geringer Appetit vorhanden, und wurde deshalb ein erheblicher Rest der Tagesportion bestehend in 75 g Wurst, 50 g Weissbrod, 10 g Butter, 362 g Bier und 20 g Cognac erst Abends um $11^1/_4$ Uhr, $3^1/_2$ Stunden nach dem gewöhnlichen Abendbrod verzehrt. Zur Zeit der Respirationsversuche waren erst 9 Stunden seit dieser Mahlzeit verflossen, daher wohl die Verdauung noch nicht ganz vollendet. Wir finden denn auch im Laufe der Versuchsreihe einige Ruheversuche an B., welche Vormittags mehrere Stunden nach einem leichten Frühstück oder nach dem Schlusse des Marsches angestellt wurden und welche niedrigere Zahlen ergaben.

Wir stellen dieselben hier zusammen:

April.	12 Uhr	36 Min.	Mittags	232,5	O,	181,7	CO_2,	RQ	= 0,78	
„	12 „	4 „	„	222,6	„	182,2	„	„	= 0,82	
Mai.	12 „	8 „	„	237,9	„	183,9	„	„	= 0,77	
„	9 „	59 „	„	241,3	„	185,7	„	„	= 0,77	
„	10 „	14 „	„	238,9	„	192,9	„	„	= 0,81	
„	1 „	6 „	„	217,1	„	165,1	„	„	= 0,76	Nach dem Marsch
„	10 „	23 „	„	235,3	„	189,8	„	„	= 0,81	Nach dem Marsch
„	10 „	37 „	„	232,8	„	197,3	„	„	= 0,85	Nach dem Marsch
„	10 „	51 „	„	233,2	„	199,4	„	„	= 0,86	Nach dem Marsch
Juni.	9 „	1 „	„	246,6	„	213,1	„	„	= 0,86	2 Stdn. nach leicht. Frühstück mit 125 g Weissbrod, etwas Butter und Zucker.
„	9 „	15 „	„	228,1	„	197,3	„	„	= 0,86	2 Stdn. nach leicht. Frühstück mit 125 g Weissbrod, etwas Butter und Zucker.
el (11)				**233,3**	O,	**189,9**	CO_2,	RQ	= **0,814**	

Da das Mittel dieser Versuche fast 7 pCt. niedriger liegt als die beiden vorher angeführten Nüchternversuche, können wir letztere als solche nicht anerkennen, müssen vielmehr annehmen, dass der wahre Nüchternwerth noch unter dem Sauerstoffverbrauch von 233,3 ccm pro Minute liegt. Die grösseren Schwankungen, welche Herr B. im Vergleiche mit Herrn P. bei Respirationsversuchen unter anscheinend denselben Ernährungsbedingungen aufweist, dürften sich aus den leichten Darmreizungen, welche bei ihm während des Bilanzversuchs auftraten und welche einige Male die Anwendung von Opium

nöthig machten, erklären, da wir wissen, dass jede stärkere Darmthätigkeit den Gaswechsel erhöht[1]).

Herr B. hat etwas weniger Nahrung aufgenommen als P., vom 23. Juni bis 5. Juli im Durchschnitt 3978 Calorien pro Tag, gegen 4388 Calorien bei Herrn P. Wir dürfen wohl entsprechend den S. 171 gegebenen Erwägungen, die Steigerung des O.-Verbrauchs durch die Verdauungsarbeit zu

$$\frac{3978 \,.\, 12{,}2}{2233} = 21{,}7 \text{ pCt.},$$

die der CO_2-Bildung zu

$$\frac{3978 \,.\, 16{,}3}{2233} = 29{,}0 \text{ pCt.}$$

veranschlagen.

Es würde dann der 24stündige Durchschnitt pro Minute in absoluter Ruhe betragen:

Für den Sauerstoff $121{,}7 \times 233{,}3 = 283{,}9$ ccm
„ die Kohlensäure $129{,}0 \times 189.9 = 245{,}0$ „
$\Big\}$ RQ = 0,863.

Mit diesem berechneten Werthe vergleichen wir wiederum das Mittel sämmtlicher während des Bilanzversuches ausgeführter Respirationsversuche. Es sind folgende:

| | | |

70 g) Wurst und Milch genoss, daher eine stärkere Verdauungsarbeit aufwies, welche mehr dem 24stündigen Durchschnitt entsprach. Wir werden aus diesem Grunde die höheren oben berechneten Zahlen: 283,9 ccm O und 245,0 ccm CO_2 der weiteren Rechnung zu Grunde legen. Wenn wir wieder den calorischen Werth des Sauerstoffs zu 4,9 calorien pro ccm annehmen, macht das: $283{,}9 \times 4{,}9 = 1391{,}1$ calorien pro Minute, also 2003 Calorien für 24 Stunden. Das mittlere Körpergewicht während dieser Zeit betrug 63 kg, so dass pro kg und Tag 31,8 Calorien gebraucht wurden, gegen 31,7 Calorien bei dem etwas schwereren P.

Zur Abschätzung der durch Umhergehen und ähnliche Bewegungen gelieferten Arbeit dienen uns wieder die in Columne 19 aufgeführten Angaben des Schrittzählers. Aus den Marschirversuchen an B. ohne Belastung (Tabelle B_1 und B_2) berechnen wir den Kraftverbrauch für 1 m Horizontalbewegung pro kg zu 0,524 calorien, entsprechend 0,262 calorien für jeden Schritt oder, da B. mit Civilkleidern etwa 66 kg wog = 17,3 calorien pro Schritt. Durch Multiplication dieser Zahl mit den Angaben des Schrittmessers (Stab 19) ist der Kraftverbrauch für die Schritte in Stab 20 berechnet. Er beträgt im Mittel der 9 in Betracht kommenden Tage 203 Calorien = 10,1 pCt. des Verbrauchs in absoluter Ruhe (gegenüber 12 pCt. bei Herrn P.). Den wirklichen Verbrauch an den Ruhetagen schätzen wir hier, wie bei P. um 46 pCt. höher als er in absoluter Ruhe gefunden war, also zu $1{,}46 \times 2003 = 2924$ Calorien.

An den Arbeitstagen findet während der 5 Marschstunden ausser dem direct durch Respirationsversuche gemessenen Verbrauch für die Marschleistung nur noch der Verbrauch für absolute Ruhe statt.

Derselbe beträgt . . . . . $\frac{5}{24} \times 2003 = 417$ Calorien,

während sonst für 5 Stunden

gerechnet wird . . . . . $\frac{5}{24} \times 2924 = 609$ „

Es werden also erspart . . . . . 192 Calorien.

Der Schrittzähler wurde an den Marschtagen nicht für die Ruhezeit gesondert abgelesen; wir gehen wohl nicht fehl, wenn wir annehmen, dass derselbe Bruchtheil der Arbeit

durch Umhergehen gespart wurde wie bei P. Dort waren es auf 254 Calorien 125, hier hätten wir also auf 203 Calorien 99 zu rechnen. Demnach ist der Ruheverbrauch an den 4 Marschtagen je 2924— (192 + 99) = 2633 Calorien. Am 8. Juli, dem letzten Versuchstage wurde kein Fleisch gegessen. Das vermindert die Verdauungsarbeit nach den Erfahrungen von Magnus-Levy um etwa 20 Calorien, wir schätzen daher den Bedarf dieses Tages zu 2904 Calorien. Die für die 3 Tage gefundene Ausscheidung im Kothe von 8,756 g N und 24,99 g Fett ist trotz der Unterschiede in der Nahrungsaufnahme auf jeden Tag gleichmässig angerechnet worden mit 2,92 g N und 8,33 g Fett. Dies durfte deshalb ohne nennenswerten Fehler geschehen, weil die Hauptmasse des Kothstickstoffs aus dem Brote stammt, der Ausfall der Fleischportion also keinen erheblichen Einfluss auf die Kothbildung haben konnte. Aus dem nach diesen Gesichtspunkten berechneten und in Stab 22 eingetragenen Tagesbedarf an Energie ist genau wie bei P. (S. 176) unter Berücksichtigung des Fleischansatzes die Körpergewichtsänderung berechnet und in Stab 25 eingetragen.

Hier haben wir selbst für die Marschperioden eine Zunahme, weil Herr B. von den 3 Märschen nur je 2 mitmachte und dadurch erheblich Kraft sparte. Während der ganzen Versuchsreihe ergiebt die Summirung von Stab 25 eine Zunahme um 2060 g. Dazu sind für den 22. Juni mit seiner um etwa 470 Calorien reichlicheren Ernährung noch etwa 300 g, für den 6. Juli, an welchem Tage der Harn verloren ging, noch etwa 100 g zu rechnen, so dass der berechnete Gewichsansatz von B. für die 17 Versuchstage etwa 2460 g beträgt. Auch hier ist leider die genaue Wägung am Schluss der Reihe verloren, so dass wir nur

das Gewicht am 21. Juni früh mit 61,670 g und
„ „ „ 5. Juli „ „ 63,520 „

vergleichen können. Die Zunahme beträgt in 14 Tagen . . . . . 1850 g

Wenn wir die einzelnen Wägungen noch wie bei P. durch Abzug der am Morgen schon aufgenommenen Nahrung corrigiren, haben wir folgende Zahlen zum Vergleich der wirklichen und der zugehörigen berechneten Aenderungen des Körpergewichts:

	Nacktgewicht — Frühstück	Gewichtsänderung	Aus der Nahrung und Arbeit berechnete Gewichtsänderung[1])
21. Juni	61.150		
26. „	62,840	+1690	+1031
28. „	62,570	— 270	+ 152
3. Juli	62,930	+ 360	+ 732
5. „	63,095	+ 165	+ 135
9. „	63.250	+ 155	+ 310
Im Ganzen		+2100	+2360

Bei Herrn B. stimmt also die berechnete Gewichtsänderung mit der wirklichen nahezu überein; daraus können wir schliessen, dass die Grundlagen der Rechnung, speciell die Annahme, es sei der factische Tagesverbrauch an Energie um etwa 46 pCt. grösser als der im Respirationsversuch bei absoluter Ruhe gefundene, bei ihm zutrifft. Bei Herrn P. dagegen steht der berechneten Zunahme von 1658 g nur eine wirkliche von 735 g gegenüber; er hat also in 14 Tagen 923 g Fettgewebe mehr verbraucht als wir berechnet hatten. Für den Tag macht das 66 g Fettgewebe à 8,6 Calorien = 567 Calorien, das sind fast 27 pCt. des Ruhebedarfs von 2124 Calorien. Herr P., der auch factisch, soweit unsere Beobachtungen reichten, mehr und energischere Muskelbewegungen als B. ausführte, würde demnach im Tagesdurchschnitt 46 + 27 = 73 pCt. über den Ruhebedarf verbrauchen, d. h. 3674 Calorien.

Der verschiedene Nahrungsbedarf verschiedener Menschen, sowie die Thatsache, dass bei derselben Kost der eine von zwei gleich schweren Menschen Fett ansetzt, während der andere abmagert, wird durch vorstehende Erfahrungen und Berechnungen augenscheinlich illustrirt.

Aus den Wägungen, wie aus den Berechnungen über die Einnahmen und Ausgaben geht hervor, dass die von uns gewählte Kost bei den Anforderungen, welche wir an unsere Versuchspersonen stellten, eine überschüssige war, dass sie aber knapp ausreichte an den Marschtagen. Bei einer Tagesleistung von 26 bis 28 km in der Ebene mit 22 bis 31 kg Belastung (incl. Kleider) braucht der Mann eine Menge verdaulichen Nährstoffs, welche ihm zwischen 4100 und 4600 Calorien zur Verfügung stellt. Wenn, wie in unserem Falle

[1]) Die Wägungstage fallen nicht mit den Perioden der Kothabgrenzung zusammen. Die Gewichtsänderungen sind unter der Annahme, dass sie innerhalb der Periode regelmässig sind, repartirt.

nur 3 Märsche wöchentlich erfolgen, ist diese Nahrung überschüssig. Es werden dann pro Woche erfordert etwa $4 \times 3600 + 3 \times 4300 = 27300$, also pro Tag etwa 3900 Calorien bei dem 67 kg wiegenden P. und etwa $4 \times 2920 + 3 \times 4200 = 24280$, also pro Tag 3470 Calorien bei dem 63 kg wiegenden B. Das mittlere Gewicht von 65 kg dürfte etwa dem Durchschnitt unserer Soldaten entsprechen.

Mit diesem Bedürfniss hätten wir die durchschnittlichen Rationen unserer Soldaten zu vergleichen. Nach Munk und Uffelmann[1]) bietet

1. die gewöhnliche Friedensportion der deutschen Armee im Durchschnitt: 111 g Eiweiss, 28 g Fett, 489 g Kohlenhydrate,
2. die grosse Friedensportion: 135 g Eiweiss, 39 g Fett, 538 g Kohlenhydrate,
3. die kleine Kriegsportion der deutschen Armee: 142 g Eiweiss, 51 g Fett, 458 g Kohlenhydrate,
4. die grosse Kriegsportion: 181 g Eiweiss, 64 g Fett, 558 g Kohlenhydrate.

Da die Kost durchgehends fettarm ist und ein grosser Theil ihres Eiweisses in Form von Brod vorhanden ist, können wir annehmen, dass 20 pCt. des Eiweisses, 10 pCt. des Fettes und 3 pCt. der Kohlenhydrate mit dem Kothe bezw. durch Gährung im Darme verloren gehen. Wir tragen diesem Verluste Rechnung, indem wir den calorischen Werth der Nahrungsstoffe entsprechend niedriger veranschlagen, d. h. 1 g Eiweiss, welches 4,32 Calorien liefert, nur zu 3,5 rechnen, ebenso 1 g Fett statt zu 9,46 nur zu 8,5 Calorien, endlich 1 g Kohlenhydrat statt 4,18 zu 4,06 Calorien.

Der calorische Werth der 4 Rationen ergiebt sich hiernach zu:

1. 2611 Calorien,
2. 2988 „
3. 2789 „
4. 3442 „

Die höchste dieser Zahlen ist identisch mit dem, was der leichtere unserer 2 Versuchspersonen (B.) bei wöchentlich 2 Märschen mit schwerem Gepäck gebraucht hat, sie ist also für die meist viel grösseren Marschleistungen im

[1]) Ernährung des gesunden und kranken Menschen. 2. Auflage. S. 208 u. 402.

Kriege und in grösseren Manövern noch unzureichend. Faktisch dürfte auch die Ernährung der Truppen eine reichlichere sein, weil sie ausser der hier in Betracht gezogenen Kost noch uncontrollirt wechselnde Mengen von Bier und anderen Alkoholicis aufnehmen, von welchen wir gesehen haben, dass sie auch erst, neben der sehr hoch bemessenen Fettgabe, die so reichliche Ernährung in unserem Stoffwechselversuch ermöglichten.

Bemerkenswerth ist noch, dass unsere sämmtlichen 5 Marschirenden während der 10wöchigen Versuchszeit bei frei gewählter Kost und guter Küche (Kasino der Kaiser Wilhelms-Akademie) erheblich an Gewicht verloren haben, und dass nur bei den beiden dem Stoffwechselversuch unterworfenen Herren während des letzteren in Folge der pflichtmässigen Aufnahme grösserer Nahrungsmengen wieder eine mässige Gewichtszunahme stattfand. Trotzdem ist das Endergebniss auch bei diesen Herren eine Gewichtsabnahme. Wir haben nämlich

	Nacktgewicht		Abnahme
bei B.	am 30. April = 65,00 kg,	am 5. Juli = 63,50 kg	1,50 kg
„ P.	„ 30. „ = 70,00 „	„ 5. „ = 67,25 „	2,75 „
„ C.	„ 30. „ = 67,50 „	„ 4. „ = 63,65 „	3,85 „
„ S.	„ 30. „ = 82,00 „	„ 5. „ = 76,80 „	5,20 „
„ F.	„ 30. „ = 67,50 „	„ 5. „ = 65,37 „	2,13 „

Der Ueberschuss des Stoffverbrauchs über die Einnahmen war aber faktisch noch erheblich grösser, als er sich in diesen Zahlen ausspricht, da, wie früher schon erwähnt, die Muskulatur bei allen Herren erheblich zu-, das Fettpolster abgenommen hatte. Da nun 1 kg Fettgewebe etwa 8600 Calorieen, 1 kg Muskelfleisch nur etwa 900 Calorien repräsentirt, werden 7700 Calorien, also fast der Bedarf von 2 schweren Arbeitstagen disponibel, wenn ohne Aenderung des Körpergewichts 1 kg Fettgewebe durch das gleiche Gewicht Muskel ersetzt wird. Ein solcher Ersatz kann natürlich nur allmählich erfolgen, da täglich nur einige Gramme Stickstoff zum Ansatz zur Verfügung stehen, 1 kg Muskel aber 33 g N enthält.

Unsere Stoffwechselversuche unterstützen also energisch die schon vielfach aufgestellte Forderung, in der Kost des Soldaten den Fettgehalt erheblich über die bisher üblichen Maasse zu erhöhen und dadurch einerseits die absolute Menge dem Körper zugeführten Nährstoffs zu steigern und andererseits die Verdauungsarbeit, welche ja für Fett am geringsten ist, herabzusetzen. Auch eine reichlichere Verwendung von

Zucker, dessen belebende Wirkung auf die ermüdeten Muskeln ja genügend nachgewiesen ist, dürfte bei angestrengten Märschen empfehlenswerth sein. Andererseits zeigen unsere Versuche, dass der Eiweissgehalt in den für die Soldatenkost aufgestellten Normen ein vollkommen ausreichender ist. Wir haben bei B. mit durchschnittlich 97,5 g, bei P. mit 111 g Eiweiss nicht nur den Bedarf des Körpers gedeckt, sondern auch noch einen erheblichen Fleischansatz erzielt. Die Thatsache, dass ein solcher Fleischansatz erfolgt ist, bleibt auch dann unbestreitbar, wenn wir dem insensibeln Verluste an Stickstoff, welchen der Körper durch Nachwuchs und Abstossung von Epidermisgebilden (Haare, Nägel, Oberhautschuppen) erleidet, einen extrem hohen Werth zumessen. Dem N-Verlust durch den Schweiss, der nicht unerheblich ist, wurde ja in unseren Versuchen durch directe Bestimmung nach der von Argutinsky angegebenen Methode Rechnung getragen. Die betreffenden, aus der Perspiratio insensibilis auf Grund der an Herrn P. angestellten Bestimmungen berechneten Stickstoffverluste sind in Stab 12 der beiden grossen Tabellen dem Harnstickstoff zugefügt. Wenn wir einer neuesten Taxe von Bornstein[1]), die sicherlich sehr hoch bemessen ist, folgend den täglichen insensibeln Stickstoffverlust zu 0,6 g veranschlagen, würde dies für die 16 Versuchstage, an welchen der Harn analysirt wurde, 9,6 g N ausmachen; der Ueberschuss des verdauten über den im Harn ausgeschiedenen Stickstoff betrug aber in der Zeit bei Herrn P. = 12 g, bei Herrn B. in 15 Tagen gar 30 g. Der geringe Stickstoffverbrauch des Körpers unserer Herren ist um so bemerkenswerther, als sie im Laufe der Marschirversuche an Fleisch erheblich gewonnen, an Fett sicher bedeutend eingebüsst haben, Veränderungen, von welchen man allgemein annimmt, dass sie den Eiweissbedarf des Menschen steigern.

Wir möchten auch noch betonen, was wir in unseren ersten Mittheilungen über diese Versuche schon erwähnt hatten, dass die Märsche unzweifelhaft steigernd auf den Eiweissverbrauch eingewirkt haben und zwar ganz in der Weise, wie es Argutinsky in seinen bekannten Bergsteigeversuchen erfahren hat, dass die Steigerung am Tage nach dem Marsche noch grösser ist, als am Arbeitstage selbst und dass sie

---

[1]) Bornstein, Eiweissmast und Muskelarbeit. Pflüger's Arch. 83.

auch am zweiten Nachtage noch unverkennbar besteht. — Wir haben auch schon in jener ersten Mittheilung hervorgehoben, dass die Steigerung des Eiweisszerfalls keineswegs der Grösse der Belastung, also, da die Wege gleich lang waren, der absoluten Arbeitsgrösse proportional geht, dass vielmehr bei beiden Versuchspersonen die Hitze einen stärkeren Einfluss auf den Eiweisszerfall ausgeübt hat, als die Schwere des Gepäcks.

Um den Einfluss der Arbeit auf den Eiweisszerfall noch präciser darzustellen, wollen wir die Steigerung des Harnstickstoffs an sämmtlichen unter dem Einfluss der Arbeit stehenden Tagen zusammenfassen. Den Normalwerth für die Ruhe liefern uns folgende Tage:

	bei B.	bei P.
24. Juni	9,33 g N,	12,35 g N im Harn
25. „	9,79 „ „	12,43 „ „ „ „
1. Juli	9,70 „ „	12,85 „ „ „ „
2. „	11,90 „ „	13,41 „ „ „ „
Mittel	**10,18** g N,	**12,76** g N im Harn

Demgegenüber bieten die Arbeitstage (M) und die Nachtage (N) folgende Mehrausscheidungen von Stickstoff;

	bei B.	bei P.
26. Juni	(M) = + 0,07	(M) = + 0,69
27. „	(N) = + 2,04	(M) = + 2,61
28. „	(M) = + 0,86	(M) = + 2,82
29. „	(N) = + 2,04	(N) = + 2,93
30. „	(N) = + 2,43	(N) = + 0,97
Hierzu im Schweiss geschätzt	1,05	2,16
Steigerung im Ganzen . .	8,49 g N	12,18

	bei B.	bei P.
Energieaufwand für die Märsche . .	3240 Cal.	5065 Cal.
Aequivalent der Marscharbeit an N[1]) .	120 g N	188 g N
Die Steigerung der N-Ausscheidung beträgt in Procenten des N-Aequivalents der Arbeit	7,1 pCt.	6,6 pCt.

Die gleiche Rechnung ergiebt für die Märsche mit leichterem Gepäck, bei denen aber die Marschirenden mehr durch die Hitze litten:

[1]) Unter der Annahme, dass 1 g N aus Eiweiss 27 Calorien erzeugen kann.

3. Juli	B. (M) = + 1,49 g N;	P. (M) = + 1,92
4. „	„ (N) = + 2,36 „ „	„ (M) = + 4,16
5. „	„ (M) = + 1,71 „ „	„ (M) = + 3,50
6. „	„ (N) = + ? „ „	„ (N) = + 3,80
7. „	„ (N) = + 1,14 „ „	„ (N) = + 1,73
8. „	„ (N) = + ? „ „	„ (N) = + 1,13
Schweiss „	1,20 „ „	„ 2,21

Steigerung im Ganzen . . .	> 7,90 g N	18,45 g N
Energieaufwand f. d. Märsche	3076 Cal.	4140 Cal.
N-Aequivalent der Marscharbeit	114 g N	153 g N
Die Steigerung der N-Ausscheidung beträgt in Procenten des N-Aequivalents der Arbeit	> 7,0 pCt.	12,1 pCt.

Bei Herrn P. ist also der Antheil des Eiweisses am Gesammtumsatz bei den leichteren Märschen in grosser Hitze fast doppelt so gross, als bei den schweren, welche durch das Wetter mehr begünstigt waren.

Angesichts der unzweifelhaften Erhöhung des Eiweisszerfalls durch jeden Marsch bleibt die Thatsache, dass unsere Herren mit der geringen Menge von 97,5 bezw. 111 g Eiweiss in der Nahrung noch einen recht erheblichen Ansatz bewirken konnten, um so bemerkenswerther. Im Zusammenhang mit der Beobachtung, dass sämmtliche Herren bei einer Nahrung, welche zur Behauptung des Fettbestandes nicht ausreichte, also bei leichter Inanition, an Muskelmasse, d. h. an Eiweiss erheblich zunahmen, kommen wir zur Ueberzeugung, dass starke Muskelarbeit, wenn auch jede einzelne Arbeitsleistung den Eiweisszerfall im Vergleich zur zugehörigen Ruhe steigert, im Ganzen doch zu einer Eiweissersparniss, zu einer gesteigerten Fähigkeit des Körpers, Eiweiss anzusetzen, führt. Diese interessante und nach allem, was wir sonst über den Einfluss der Thätigkeit auf das Wachsthum der Organe wissen, eigentlich zu erwartende Thatsache ist seitdem im thierphysiologischen Institut der landwirthschaftlichen Hochschule von den Herren Dr. Caspari am Hunde und Dr. Bornstein am Menschen noch eingehender studirt worden.

Von Interesse erscheint uns noch die Frage, ob die im Harn ausgeschiedenen stickstoffhaltigen Zerfallsproducte des Eiweisses bei Arbeit dieselben bleiben wie bei Ruhe, speciell ob das Verhältniss des Harnstoffs zu den übrigen stickstoffhaltigen Producten etwa eine Verschiebung erfahre. Dieser

Frage hatte schon Leop. Bleibtreu[1]) im Anschluss an die Versuche Argutinsky's seine Aufmerksamkeit zugewandt; er erhielt aber kein eindeutiges Resultat, indem der procentische Antheil des nicht in Harnstoff enthaltenen Stickstoffs, welcher meist 15 bis 16 pCt. des ganzen Stickstoffs betrug, an einem Arbeitstage auf 20 pCt. stieg, am anderen dagegen unverändert blieb. Da wir selbst durch die Arbeiten des Versuchs voll beschäftigt waren, nahmen wir dankbar das Anerbieten von Herrn Dr. Paul Friedr. Richter an, diese Untersuchungen auszuführen.

Er bestimmte in Durchschnittsproben der während des Stoffwechselversuchs gewonnenen Harne ihren Gehalt an durch Phosphorwolframsäure fällbaren Bestandtheilen, sowie an Ammoniak. Namentlich die letztere Bestimmung konnte möglicher Weise charakteristische Zeichen der Ueberanstrengung zu Tage fördern. Bekanntlich werden bei übermässiger Muskelanstrengung organische Säuren gebildet (Milchsäure), deren Anhäufung im Blut bedenkliche Folgen, bei pflanzenfressenden Thieren sogar den Tod herbeiführen kann. So findet man bei zu Tode gehetzten Hasen und Kaninchen die Säuerung des Blutes als eigentliche Todesursache[2]). Man weiss aber seit den Untersuchungen von Gaethgens, Hallervorden, Hans Meyer und Anderen, dass Säureanhäufung im Blut zu einer vermehrten Ammoniakausscheidung im Urin Anlass giebt; in ausgesprochenem Maasse findet man dieselbe bekanntlich im letzten Stadium der Zuckerharnruhr, wo die massenhaft gebildete Oxybuttersäure im Harn zum grössten Theil als Ammoniaksalz erscheint.

Wir haben die Hauptergebnisse der Richter'schen Analysen in nachfolgender Tabelle (S. 190) zusammengestellt.

Es geht daraus hervor, dass weder der Ammoniakgehalt des Harns, noch die Menge der durch Phosphorwolframsäure nicht fällbaren Substanzen, welche im Wesentlichen den eigentlichen Harnstoff repräsentiren, einen die Fehlergrenze überschreitenden Unterschied zwischen Ruhe und Arbeitsperioden aufweisen. Wir bemerken noch, dass der erste

---

[1]) Bleibtreu, Ueber den Einfluss der Muskelarbeit auf die Harnstoffausscheidung. Pflüger's Arch. 46. S. 601.

[2]) Vergl. Geppert u. Zuntz, Ueber die Regulation der Athmung. Pflüger's Arch. 42. S. 233 u. 237 und Cohnstein, Ueber die Aenderung der Blutalkalescenz durch Muskelarbeit. Virchow's Arch. CXXX. Seite 332.

Verhältniss des Gesammt-N zum N in Harnstoff und NH_3.

	B.		P.	
	pCt. Hstff.	pCt. NH_3	pCt. Hstff.	pCt. NH_3
26. Juni bis 28. Juni	80,08	9,28	85,44	6,69
3. Juli „ 5. Juli	84,63	10,60	85,95	7,86
Mittel	82,35	9,94	85,70	7,27
30. Juni bis 2. Juli	84,77	10,29	81,48	9,25
7. Juli „ 8. „	84,35	12,04	87,34	9,56
Mittel	84,56	11,16	84,41	9,40
Mittel Beider für Arbeit			84,02	8,60
Mittel Beider für Ruhe			84,49	10,28

Ruhetag nach der Arbeit, welcher, wie Pflüger und Argutinsky nachgewiesen und wir bestätigt haben, noch erhöhte Stickstoffausscheidung als Nachwirkung der Arbeit zeigt, absichtlich ausgeschaltet worden ist.

Eine weitere sehr willkommene Ergänzung unserer Harnuntersuchung hat Herr Professor Immanuel Munk geliefert, indem er den Harn des Herrn P. auf seinen ganzen Gehalt an Mineralstoffen, speciell an Kali, Phosphorsäure und Kalk, sowie an Schwefel untersuchte. Er benutzte zu dem Zweck 7 Mischharne, welche die einzelnen Perioden des Versuches repräsentiren und zwar

		N im Urin
I.	24. Juni bis 26. Juni 2 Ruhetage	mit im Mittel 12.4 g
II.	26. „ „ 29. „ 3 Marschtage	„ „ „ 14.8 „
IIIa.	29. „ „ 30. „ 1 Nachwirkungstag . . .	„ „ „ 15,7 „
IIIb.	30. „ „ 3. Juli 3 Ruhetage	„ „ „ 13.3 „
IV.	3. Juli „ 6. „ 3 Marschtage bei Hitze . .	„ „ „ 15.9 „
Va.	6. „ „ 7. „ 1 Nachwirkungstag . . .	„ „ „ 16,6 „
Vb.	7. „ „ 9. „ 2 Ruhetage	„ „ „ 14,2 „

Ueber die Ergebnisse seiner Untersuchungen hat Herr Professor Munk in den Verhandlungen der Berliner Physiologischen Gesellschaft vom 5. April 1895[1]) berichtet. Wir geben hier das Wesentliche seines Vortrages wörtlich wieder:

„Da in dem Eiweissmolekül auch Schwefel steckt, so wird die S-Ausfuhr durch den Harn der N-Ausscheidung, die ein Maass für den Eiweissumsatz liefert, annähernd parallel laufen müssen. Da ferner sowohl im Nahrungs- als im Körperfleisch auf eine bestimmte Menge Eiweiss eine annähernd constante Menge von Phosphor (zumeist in Form

[1]) Abgedruckt im Arch. f. Anat. u. Physiol. 1895. S. 385.

von Phosphaten) sowie von Kali trifft, wird bei erhöhtem Eiweisszerfall auch entsprechend mehr Phosphorsäure und Kali durch den Harn austreten, bei verringertem Eiweissverbrauch weniger von beiden Stoffen. Kommt es zum Eiweiss- oder Fleischansatz im Körper, so wird auch soviel Phosphor und Kali zurückbehalten, als davon erforderlich ist, um mit dem im Körper verbleibenden Antheil des Nahrungseiweisses Fleisch zu bilden.

Zur leichteren Uebersicht gebe ich die von mir erhobenen Zahlenwerthe in einer kleinen Tabelle, und zwar entsprechen die einzelnen Ziffern dem Tagesmittel der betreffenden Versuchsperiode. I ist die Periode der Ruhe, II die des Marschirens mit schwerem Gepäck, IV mit leichterem Gepäck, aber bei drückender, schwüler Hitze, III und V die darauf folgenden Ruheperioden, und zwar IIIa und Va die noch unter dem Einfluss der voraufgegangenen Arbeitstage stehenden Nachtage, IIIb und Vb die Rückkehr zu den Ruhewerthen der Vorperiode I. Da während des ganzen Bilanzversuches dieselbe Diät eingehalten wurde, sind die Zahlenwerthe direct mit einander vergleichbar.

	I	II	III		IV	V	
			a	b		a	b
N . . .	12.4	14.8	15,7	13,3	15,9	16,6	14,2
S . . .	0,94	1,24	1,34	1,12	1.35	1.3	1,31
P_2O_5 . .	3,3	4,1	4.1	3.6	4,3	4,1	3,6
K_2O . .	2,3	3,4	3,04		3,23	3,25	2,7

Die Resultate stimmen genau zu dem, was aus der theoretischen Ableitung zu erwarten stand. Findet ein Fleischansatz am Körper statt, wie in Periode I, III und in geringerem Maasse auch in Periode V (der Nahrungs-N betrug 17,8, der verdaute N 15,6 g), so wird weniger S, P_2O_5 und K_2O durch den Harn ausgeschieden, steigt der Eiweisszerfall, wie in den Perioden II und IV der angestrengten Marschleistung, so geht dem Ansteigen des Harn-N eine entsprechende Zunahme der durch den Harn austretenden Menge von S, P_2O_5 und K_2O parallel. Nur in Bezug auf den Schwefel erscheint die Steigerung in Periode II und IV grösser als der Zunahme des Harn-N entsprechen würde. Allein, wie schon Zuntz mitgetheilt hat, traten mit dem während der Märsche reichlich ausgeschiedenen Schweiss nicht zu vernachlässigende Mengen N heraus und zwar in Periode II 0,74 g, in IV sogar 0,84 g N pro Tag, so dass, wofern diese N-Antheile zum Harn-N hin-

zugerechnet werden (der Schweiss enthält andererseits nur Spuren von S-haltigen Stoffen), der Parallelismus zwischen dem ausgeschiedenen N und S ein schärferer wird.

Von Interesse erscheint sodann, wie viel von dem ausgeschiedenen S in oxydirter Form, d. h. in Form von Sulfaten, „saurer S", und wie viel in nicht oxydirter Form, „organischer" oder „neutraler S", durch den Harn austritt.

	I	II	IIIa	IIIb	IV	Va	Vb
Gesammt-S . .	0.94	1.24	1.34	1.12	1.35	1.3	1.31
Saurer S . . .	0.7	1.05	0.93	0.83	1.03	0.94	0.97
Neutraler S . .	0.24	0.19	0.41	0.29	0.32	0.36	0.34

In den Ruheperioden I, IIIb, Vb beträgt der neutrale S pro Tag 0,24 bis 0,34, im Mittel 0,29 g, in den Arbeitsperioden II und IV und den zugehörigen Nachtagen IIIa, Va 0,19 bis 0,41, im Mittel 0,32 g, so dass keinesfalls der neutrale Schwefel eine dem gesteigerten Eiweisszerfall entsprechende Zunahme zeigt, vielmehr betrifft letztere fast ausschliesslich den oxydirten Schwefel. Allerdings sind es auch nur geringe Beträge von Körpereiweiss, die in den Perioden II und IV des gesteigerten Eiweisszerfalles zu Verlust gegangen sind, in Periode II 0,1, in IV 1,7 g N entsprechend, während bei starkem Verlust von Körpereiweiss, wie in den Versuchen von Rudenko und Savelieff in Folge Einführung von Protoplasmagiften (Chloroform), die S-Zunahme weit stärker den neutralen, als den sauren Schwefel trifft.

Die Menge der Aetherschwefelsäuren, welche uns ein annäherndes Maass für die Grösse der Eiweissfäulniss im Darm liefert, wurde durch die anstrengende Körperarbeit kaum beeinflusst (I 0,27, II 0,3, III 0,28, IV 0,26, V 0,21 g S in Form von Aetherschwefelsäure).

Bemerkenswerth erscheinen noch die Verhältnisse der Kalkausscheidung, zu deren Beurtheilung bekanntlich die Kenntniss der Kalkmenge im Harn und Koth erforderlich ist. Die CaO-Ausstossung durch Nieren und Darm betrug I 0,8, II 0,9, III 0,7, IV 1,02, V 0,88 g, somit besteht während der Perioden angestrengter Arbeit II und IV eine unzweifelhafte Zunahme der Kalkausscheidung; insbesondere in Periode IV ist diese Steigerung so gross, dass sie selbst unter Berücksichtigung der vermehrten Kalkeinfuhr mit dem während des Marschirens reichlicher getrunkenen Wasser bei Weitem noch nicht gedeckt wird. Da auch die Ausstossung von P_2O_5 durch die Fäces in Periode II und IV grösser war (I bezw.

1,2 g) als in der Ruhe (0,8 g) und somit die Gesammtausscheidung von P_2O_5 durch Harn und Koth an den Marschtagen grösser wird, als sie im Verhältniss zum Harn- und Koth-N an den Ruhetagen war, liegt die Vermuthung nahe genug, dass während der anstrengenden Marschtage, neben Fleisch und Fett, ein P_2O_5- und CaO-reiches, aber relativ N-armes Gewebe in den Zerfall gekommen ist, nämlich das Knochengewebe."

Noch möchten wir kurz die Frage erörtern, welchen Einfluss die angestrengte Marscharbeit auf die Verdauungsthätigkeit ausübt. Die Annahme, dass ein gewisser Antagonismus zwischen Muskel- und Darmthätigkeit bestehe, dass die intensive Bethätigung der einen Function die andere mehr oder weniger schädige, ist wohl allgemein geläufig. Zu ihrer festeren Begründung hat besonders Johannes Ranke[1]) durch seine Studien über die Beziehungen zwischen Blutgehalt und Thätigkeit der Organe beigetragen. Wir wissen, dass der gewaltige Mehrbedarf der arbeitenden Muskeln und der im Dienste der Wärmeregulation hyperämischen Haut an Blut im Wesentlichen durch Beschränkung der Zufuhr zu den Baucheingeweiden gedeckt wird. Während der Zeit der Anstrengung ist daher nothwendiger Weise die Secretion der Verdauungsdrüsen wie die Energie der Resorption vom Darme ins Blut herabgesetzt. Als krasser Ausdruck dieser Verhältnisse erscheint die bekannte Angabe, dass von 2 Jagdhunden, die gleich gefüttert wurden, der eine, welcher viele Stunden gejagt hatte, nach Ablauf dieser Zeit noch einen vollen Magen hatte, während der seines ruhenden Kameraden bereits ganz entleert war.

Eine Verzögerung der Magenverdauung durch Bewegung bei Hunden constatirte auch Jacob Cohn[2]), welcher 2 Stunden nach der Mahlzeit den Mageninhalt ausheberte und Salvioli[3]), welcher an Fistelthieren beobachtete. Rosenberg[4]) machte zur Ergänzung dieser Angaben eine Anzahl Ausnutzungsversuche an einem Hunde abwechselnd in Ruhe und bei schwerer Arbeit (meist innerhalb 4 Stunden 17 km Weg

[1]) J. Ranke, Blutvertheilung und Thätigkeitswechsel der Organe, Leipzig 1871.

[2]) Jacob Cohn, Deutsches Arch. f. klin. Med. 43. S. 239.

[3]) Salvioli, citirt von Rosenberg.

[4]) S. Rosenberg, Ueber den Einfluss körperlicher Anstrengung auf die Ausnutzung der Nahrung. Pflüger's Arch. 52. S. 401.

bei einer Steigung von ca. 3000 m). Die Arbeit begann bald unmittelbar nach der Mahlzeit, bald $3^1/_2$—4 Stunden später (auf der Höhe der Darmverdauung). In beiden Fällen blieb sowohl die Ausnutzung des Eiweisses, wie die des Fettes von der Arbeit unbeeinflusst.

Pflüger[1]) fand bei Zichhunden einen auffallend geringen Fettgehalt des Kothes im Vergleich zu ruhig gehaltenen Thieren. Die bessere Fettausnutzung zeigte der Zichhund aber auch in Perioden der Ruhe. Ein Analogon zu diesen Beobachtungen sind die Versuchsergebnisse von Grandeau und Leclerc[2]), welche die Ausnutzung einer genau analysirten gleichen Nahrung bei verschieden stark arbeitenden Pferden untersuchten. Die französischen Forscher fanden, dass bei anstrengender Arbeit und namentlich, wenn dieselbe in schnellem Tempo (Trab) erfolgte, die Ausnutzung der Nahrung weniger gut war.

Im Mittel von im Ganzen 36 meist je einen Monat umfassenden Versuchsreihen an 3 Pferden wurde die organische Substanz des Futters ausgenutzt

bei Ruhe . . . . zu 71,9 pCt.
„ Arbeit im Schritt „ 70,1 „
„ „ „ Trab . „ 66,6 „

Am meisten machte sich diese Störung der Verdauung beim Eiweiss und der Rohfaser (Cellulose) bemerklich, wenig bei der Stärke des Futters.

Es betrug die Ausnutzung:

In der Ruhe . .	bei	Protein	73.7 pCt.	bei	Rohfaser	45.7 pCt.
Bei Schrittarbeit	„	„	71,9 „	„	„	39.5 „
„ Trabarbeit .	„	„	66,8 „	„	„	33,0 „ .

Mässige Bewegung ohne Zugarbeit bewirkte dagegen in den meisten Fällen eine kleine Verbesserung der Ausnutzung, das trat besonders in den späteren Versuchen, in welchen das Futter aus Mais und Stroh bestand, sehr deutlich hervor.

Hier wurden von der organischen Substanz der Nahrung verdaut:

In der Ruhe	70.9 pCt.
Beim Schrittgang ohne Zug .	74.2 „
„ „ mit „ .	73.2 pCt.
„ Trab vor der Droschke .	68.3 „

---

[1]) Pflüger, sein Archiv. S. 17—23.

[2]) Grandeau et Leclerc, Etudes expérimentelles sur l'alimentation du cheval de trait. I et II. Paris 1883. V. Ibid. 1893.

Emil Wolff[1]) fand in zahlreichen Versuchen, dass ruhige, am Göpel im Schritt arbeitende Ackerpferde selbst eine Verdreifachung der Arbeit ohne Herabsetzung der Verdauung ertrugen; er kommt also zu dem Schluss, dass nur die schnelle Bewegung (Trab) störend auf die Verdauung einwirkt.

Unsere eigenen Erfahrungen haben wir in Tabelle 4 zusammengestellt, welche zugleich alle analytischen Beläge für die Kothanalysen während des Bilanzversuchs enthält.

Der Koth war zu fettreich, um sich ohne Weiteres nach dem Trocknen fein pulvern zu lassen. Er wurde deshalb, nach vorläufiger Trocknung unter Zusatz von wenig alkoholischer Salzsäure, grob gepulvert und die ganze Masse mit Aether in verschlossener Flasche unter öfterem Schütteln stehen gelassen. In einer Probe des gemessenen Aetherextractes wurde die Trockensubstanz bestimmt (Stab 1); eine andere Probe nach Verjagung des Aethers zu einer Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl benutzt. Die gefundenen, in Stab 2 angegebenen Stickstoffmengen betragen zwischen $^1/_4$ und $^3/_4$ pCt. vom Gewicht der Aetherextracte; von letzteren ist kein corrigirender Abzug gemacht worden, weil man über die Natur des stickstoffhaltigen Körpers (Lecithin, Spuren von eiweissartigen Substanzen?) also über sein Gewicht Nichts aussagen konnte. Es dürfte wohl auch meist im „Rohfett" ein wenig stickstoffhaltige Substanz vorhanden sein, für die man keine Correctur anbringt. Die Fettausscheidung der Periode ist also in Stab 10 durch Multiplication von 3 und 7 und Addition von 1 berechnet. Die Stickstoffausscheidung entsprechend durch Multiplication von 3 und 6 und Addition von 2. Die Kohlenhydrate wurden nicht direct bestimmt. Ihre Menge ergiebt sich in Stab 15 annähernd als der Rest, welcher bleibt nach Abzug des Fettes, der Asche und des Proteins ($N \times 6{,}25$) von der Trockensubstanz des Kothes ($5 + 1$).

Der Einfluss der Marschleistung auf die Zusammensetzung des Kothes, also auf die Ausnutzung der Nahrung erweist sich als sehr gering. Bei Herrn B. wird er ganz und gar durch die Unregelmässigkeiten der Darmfunction (Neigung zu Diarrhoe) verdeckt; dieselben bedingen von Periode 1—3 ein starkes Anwachsen sowohl der Stickstoff- wie der Fett- und Aschenausscheidung, dann ein starkes Sinken in der Marschperiode IV, in welcher sein Darm am besten fungirt, endlich wieder ein Mehr der Ausscheidungen in der auch in Bezug auf die Nahrungsaufnahme etwas abweichenden Periode V.

Bei Herrn P., dessen Kothentleerungen während der ganzen Versuchsreihe tadellos erfolgten, erkennt man einen

[1]) Emil Wolff. Landw. Jahrb. Bd. XVI. Suppl. III. S. 55—70.

Tabelle 4.

Bezeichnung	Im ersten Aetherextract des Kothes		Gewicht des grob entfetteten lufttrockenen Kothes (3)	Trockensubstanz im grob entfetteten Koth (3)		N-Bestimmungen in 3
	Trockensubstanz in g	Stickstoff in mg		in pCt.	in g	in pCt.
	1	2	3	4	5	6
P.						
I. Ruhe 21. Juni Abends bis 25. Juni Abends 4 Tage	18,827	113,9	103,705	91,71	95,11	7,69 7,97 } 7,83
II. Marsch 25. Juni Abends bis 28. Juni Abends 3 Tage	15,29	90,5	86,677	93,98	81,46	8,10 7.97 } 8,035
III. 29. Juni bis 2. Juli 4 Tage	14,07	100,1	78,907	92,31	72,84	8,32 8,50 } 8,41
IV. 3. bis 5. Juli Abends 3 Tage	17,15	105,8	85,598	89,68	76,77	8,30 8,55 } 8,425
V. 6. bis 8. Juli Abends 3 Tage	16,33	101,5	86,53	91,09	78,82	7,86 7,96 } 7,91
B.						
I. Ruhe 4 Tage	19,54	63,65	71,88	92,08	66,19	7,234 7,10 } 7,17
II. Marseh 3 Tage	20,56	80,3	79,694	91,77	73,14	7,80 7,52 } 7,66
III. Ruhe 4 Tage	43,31	79,3	118,598	89,75	106,44	7,91 7,64 } 7,78
IV. Marseh 3 Tage	16,80	150,9	66,65	90,11	60,06	7,89
V. Ruhe 3 Tage	22,58	106,4	104,05	89,68	93,31	8,30 8,33 } 8,32

K o t h.

Aether-extract aus 3 in pCt.	Stickstoff im Kothe g		Fettausscheidung g		Asche-Procente von (3)	Asche der Periode in g	Asche pro Tag in g	Kohlenhydrat des Kothes in g
	der Periode	eines Tages	der Periode	eines Tages				
7	8	9	10	11	12	13	14	15
3.39	8,234	2,058	22,341	5,585	11,35	11,78	2,945	28.39
1.32	7,056	2,352	16,432	5,48	7,97	6,91	2,30	29,30
1.32	6,736	1,684	15,112	3,78	10,26	8.10	2,02	21,83
1.47	7,317	2,439	18,408	6,16	8,70	7,45	2,48	22,35
3.04	6,947	2,316	18,96	6,32	9,21	7,97	2,66	24,78
4,61	5,218	1.305	22,85	5,71	9,14	6,57	1,64	23,70
2.11	6,185	2,062	22,24	7,41	9,01	7,18	2,39	25,62
5,89	9,306	2,325	50,30	12,57	8,67	10,28	2,57	31,08
2.78	5,409	1,803	18,65	6,22	8,39	5,59	1,86	18,81
2,32	8,756	2,919	24,99	8,33	8,76	9,115	3,04	27,06

geringen Einfluss der Marscharbeit auf die Stickstoffausscheidung, die in Periode II und IV deutlich erhöht ist. Die Ausscheidung von Fett und Asche erscheint nicht in constanter Weise beeinflusst. Im Ganzen ist die etwaige Wirkung so minimal, dass sie für die Hygiene des Marsches nicht in Betracht kommt. Es muss allerdings betont werden, dass unsere Herren vor Beginn der Märsche nur ein leichtes Frühstück zu verzehren pflegten, dagegen auf halbem Wege einen etwas reichlicheren Imbiss nahmen.

Die Schweissabsonderung auf dem Marsch.

In Capitel IVd werden wir die Wasserabsonderung des Körpers in ihrer Bedeutung für die Wärmeregulation würdigen; hier haben wir auf dieselbe insofern zurückzukommen, als das wässerige Sekret der Schweissdrüsen auch gelöste Substanzen enthält, deren Menge zwar procentisch gering ist, aber doch bei den grossen Schweissmengen, welche auf anstrengenden Märschen vergossen werden, einen nicht zu vernachlässigenden Bruchtheil der gesammten Ausscheidungen bildet. Auf die Bedeutung dieses Ausfuhrweges für die Stickstoffbilanz arbeitender Menschen hatte kurze Zeit vor Beginn unserer Versuche Argutinsky[1]) die Aufmerksamkeit gelenkt. Er zeigte, dass sein Körper bei einer Bergwanderung von 7—7½ Stunden, wobei etwa 1000 m erstiegen wurden, im Juli 759,7 mg N an die durch Auswaschen vorher möglichst von löslichen Stickstoffverbindungen befreiten Kleider abgegeben hatte. In weiteren Versuchen wurde durch sorgfältiges Abwaschen der Haut festgestellt, dass auf derselben auch nicht unerhebliche Mengen haften bleiben. So betrug nach einem ebenfalls 7stündigen Bergspaziergang am 21. August, bei welchem weniger geschwitzt wurde, als das erste Mal, der Stickstoff in der Wäsche (Hemd und Unterhose) 557,2 mg. durch Abwaschen der Haut wurden 110,0 g gewonnen; in dem ebenfalls aus waschbarem Flanell bestehenden äusseren Anzug fand sich relativ wenig; in der Weste und dem Hute 51,5 mg N, in Jacke und Hose 34,8 mg N; die gesammte

---

[1]) Argutinsky, Ueber die Stickstoffausscheidung durch den Schweiss. Pflüger's Arch. 46. S. 594.

Sekretion betrug also 753,5 mg N, wovon der bei Weitem grösste Theil 557,2 mg im Unterzeug gefunden wurde. Aehnlich hohe Werthe für die Stickstoffausscheidung durch den Schweiss fand Kramer[1]), welcher die aus dem Schweiss in die Kleidung gelangende Stickstoffmenge bei Ruhe in kühler Temperatur auf etwa 13 mg pro 24 Stunden bestimmt, während die Ausscheidung bei einem Marsch im Sommer auf 711 mg in 8 Stunden, bei angestrengter Arbeit gar auf 1881 mg in 8 Stunden anstieg, d. h. bis auf 12 pCt. des Stickstoffs im Harn und Koth. Die absolute Schweissmenge, welche nach der Menge des in die Kleidung übergegangenen ClNa geschätzt wurde, betrug in minimo 141 ccm, in maximo 3208 ccm pro 24 Stunden.

Auf die Argutinsky'sche Erfahrung stützten wir uns bei unseren Versuchen, die Grösse des N-Verlustes durch den Schweiss zu bestimmen.

Wir liessen für Herrn P. Unterzeug, Hemd, Hose und Strümpfe aus leichter grauer Wolle anfertigen, welche zusammen 615 g wogen, ferner ein kleines Taschentuch zum Abwischen des Gesichts, eine Einlage in den Helm und ein Futter unter den Halskragen, zusammen 25,5 g wiegend.

Das Ganze wurde erst mehrere Tage in fliessendem Wasser der Berliner städtischen Leitung, dann in oft erneutem destillirtem Wasser, schliesslich in mit Oxalsäure angesäuertem Wasser ausgewaschen, bis dies Wasser nach 24stündiger Berührung mit dem Stoff und Auswringen nur noch Spuren von N lieferte. Dieses Unterzeug wurde von Herrn P. bei Marsch 19 am 19. Juni, bei Marsch 23 am 26. Juni und bei Marsch 26 am 3. Juli getragen. Nach dem Marsch wurde es in einem verstöpselten Glase gewogen, dann in eine grosse Glaswanne mit etwa 10 l durch Oxalsäure schwach angesäuerten destillirten Wassers gelegt, mit Glasstäben vielfach umgerührt und geknetet; nach 6 Stunden wurde das Wasser abgegossen und abgepresst und aufs Neue das Zeug für 24 Stunden mit der gleichen Menge angesäuerten Wassers hingestellt und durchgeknetet. Die vereinigten sauren Waschwässer wurden auf ein kleines Volumen eingedampft, in einer Messflasche auf 500 ccm aufgefüllt und

[1]) Ed. Kramer, Ueber die Beziehung der Kleidung zur Hautthätigkeit. Arch. f. Hyg. X. S. 231.

aliquote Theile zur Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl benutzt. Es wurden folgende N-Mengen gefunden:

Marsch	19	bei	27 kg	Belastung	471,2 mg
„	23	„	31 „	„	543,7 „
„	26	„	22 „	„	
und sehr grosser Hitze . .					619,0 „

Nun ist aber dies sicher nicht die ganze mit dem Schweiss abgesonderte Stickstoffmenge, da, wie Argutinsky nachgewiesen hat, der Antheil des Schweisses, welcher in die Oberkleider filtrirt, stickstoffhaltige Substanz in diese mitnimmt und da auch auf der Haut nicht unerhebliche Mengen derselben zurückbleiben. Da die Märsche in vorschriftsmässiger Uniform gemacht werden mussten, konnten waschbare Oberkleider nicht verwendet werden, auch die Abwaschung der Haut unmittelbar nach dem Marsche war aus äusseren Gründen nicht möglich. Wir sind deshalb auf Schätzung dieser Verluste angewiesen und glauben uns dabei an die Bestimmungen von Argutinsky um so eher halten zu können, als dieser Forscher im Ganzen ähnliche Werthe für die N-Ausscheidung fand, wie wir bei Herrn P.

Da nun bei Argutinsky von 753,5 mg N, welche im Ganzen ausgeschieden wurden, sich 557,2 mg im Unterzeug fanden, multipliciren wir die direkt gefundenen Zahlen mit $\frac{753,5}{557,2} = 1,352$, um eine annähernd richtige Zahl für den ganzen Stickstoffverlust durch den Schweiss zu finden.

Es liegt nun nahe zu fragen, ob eine gesetzmässige Beziehung zwischen der Menge Wasser, welche die Haut absondert und der ausgeschiedenen Stickstoffmenge bestehe, mit anderen Worten, ob der Procentgehalt des Schweisses an Stickstoff einigermaassen constant sei? Die Versuche von Argutinsky, welcher im Dampfbade zweimal grössere Mengen Schweiss gesammelt und analysirt hat, geben uns keine Auskunft auf diese Frage; er fand das eine Mal in 225 ccm gesammelten Schweisses 0,2475 g = 0,11 pCt. N, das zweite Mal in 330 ccm gesammelten Schweisses 0,2555 g = 0,077 pCt. N. Es ist aber unzweifelhaft, dass der Schweiss bei der Art der Aufsammlung eine erhebliche Eindickung durch Verdunstung erleiden musste, dafür sprechen auch die Ergebnisse der vor und nach einem Dampfbade vorgenommenen Körperwägungen; dieselben ergaben in $1^1/_2$ Stunden

eine Abnahme um 730 g, während doch nur 250 g Schweiss gesammelt wurden. Die Wasserverdunstung von den Lungen dürfte in $1^1/_2$ Stunden kaum mehr als 50 g, die Ausscheidung von C höchstens 15 g betragen, so dass wir annehmen müssen, dass die wirkliche Wasserausscheidung der Haut mehr als doppelt so gross war, als das Gewicht des gesammelten Schweisses.

Die Wasserverdampfung scheint in den Versuchen von Jewdokimow[1]) vermieden zu sein; derselbe fand bei einem gesunden Menschen 0,031—0,051 pCt. N im Schweiss, also kaum halb soviel als Argutinsky. Leider ist in dem uns allein zugänglichen Referate über seine Arbeit Nichts über die Methode des Sammelns des Schweisses gesagt.

Höhere Werthe giebt hinwiederum die Untersuchung von 2 Schweissproben eines Rheumatikers, welche unter den erforderlichen Kautelen, (aber laut brieflicher Mittheilung des Autors doch wohl nicht unter Vermeidung jeglicher Wasserverdunstung) in der Schwitzwanne aufgefangen waren, durch E. Harnack[2]). Er findet im Mittel 2,2 pM. organische Stoffe, davon 1,1 pM. Harnstoff neben 6,6 pM. anorganischen Salzen, davon 5,2 pM. Chlornatrium.

Wenn bei seiner Methode des Schweisssammelns Verluste durch Verdunstung in der That vermieden sind, würde der constante hohe und nur wenig unter dem des Blutes und der anderen Ausscheidungen aus demselben liegende Salzgehalt des Schweisses ein gutes Mittel zur Berechnung der abgesonderten Mengen geben. Es erscheint aber wenig wahrscheinlich, dass solche Constanz des Chlornatriumgehalts bei lange dauerndem profusem Schwitzen besteht. Wenn bei grösseren körperlichen Anstrengungen in wenigen Stunden 3 Liter und mehr Schweiss von so hohem Chlornatriumgehalt abgeschieden würden, müsste, da die ganze Menge des Blutplasmas nur etwa 4 Liter beträgt, eine sehr erhebliche Kochsalzverarmung desselben eintreten. Wir wissen aber, dass selbst im verlängerten Salzhunger der Kochsalzgehalt des Blutes nur wenig abnimmt, dass dann aber die Ausscheidung von Kochsalz durch die Nieren fast ganz aufhört. Es erscheint deshalb sehr wahrscheinlich, dass auch bei an-

[1]) Jewdokimow. refer. in Maly's Jahresber. 17. 1887. S. 399.

[2]) Erich Harnack, Ueber die Zusammensetzung des menschlichen Schweisses und den relativen Salzgehalt der Körperflüssigkeiten. Fortschritte d. Med. 1893. No. 3. S. 91.

dauerndem Schwitzen nur die ersten Portionen den hohen, von Harnack gefundenen Kochsalzgehalt aufweisen, die späteren immer ärmer daran werden. Dagegen ist es eher denkbar, dass der Harnstoffgehalt unverändert bleibt, da derselbe ja stetig, während der Arbeit sogar in grösserer Menge, producirt wird. — Wir wollen nun den wahrscheinlichen Procentgehalt des Schweisses an Stickstoff in unseren Versuchen zu berechnen suchen. Die Perspiratio insensibilis ist in denselben genau bestimmt worden, indem Herr P. nackt vor und nach dem Marsch gewogen und ausserdem, was wesentlich, die Gewichtszunahme seiner Kleidung bestimmt wurde, ebenso wie seine Einnahmen und Ausgaben während des Marsches.

Wir wollen für den 19. Juni als Beispiel die Art der Berechnung der Wasserausscheidung durch die Haut genauer darlegen.

Die Gewichtsabnahme des Körpers betrug unter Berücksichtigung der Nahrungs- und Wasseraufnahme auf dem Marsche, sowie der Harnausscheidung = 2384 g. Ein Theil dieser Gewichtsabnahme beruht auf Abgabe von Kohlenstoff; ihr steht der Antheil des eingeathmeten Sauerstoffs, welcher nicht zur Bildung von CO_2 diente, sondern sich mit Wasserstoff zu Wasser vereinigte, als Gewichtsvermehrung gegenüber. Diese Factoren berechnen wir aus den Respirationsversuchen wie folgt:

Während des Marsches von 27065 m wurden pro kg und 1000 m abzüglich des Ruhewerthes: 126,89 ccm O_2 verbraucht beim respiratorischen Quotienten = 0,82 entsprechend einer Ausscheidung von 104,05 ccm CO_2. Auf den ganzen Marsch entfallen daher bei einem zu bewegenden Gewicht von im Mittel 97,15 kg.

334,1 l O_2 und 274,0 l CO_2.

Der Ruheverbrauch beträgt für 395 Minuten Marschzeit mit Ruhepausen

395 × 283,02 ccm	O_2 bei	0,81 RQ	also		
111,8 l	O_2 und	90,6 l	CO_2		
Im Ganzen 445,9 l	O_2 und	364,6 l	CO_2		

Es sind also 445,9—364,6 = 81,3 l O_2 à 1,430 g = 116,3 g O_2 im Körper verblieben, während der in 364,6 l à 1,966 = 716,9 g Kohlensäure enthaltene Kohlenstoff:

$(^3/_{11} \times 716{,}9) = 195{,}5$ g Kohlenstoff den Körper verlassen hat. Durch die respiratorische Verbrennung hat der Körper also nur einen Gewichtsverlust von $195{,}5 - 116{,}3 = 79{,}2$ g erlitten.

Grösser ist die Wassermenge, welche von den Athemwegen verdampft ist. Wir finden dafür einen Maximalwerth, der aber sicherlich nicht viel zu hoch ist, wenn wir annehmen, dass die ausgeathmete Luft für Körpertemperatur mit Wasserdampf gesättigt sei, d. h. dass sie bei 37,3° C. eine Wasserdampfspannung von 47,42 mm gehabt habe.

Nun betrug die Athemgrösse während der $307^1/_4$ Marschminuten durchschnittlich . . . . . 20,96 l,
im Ganzen also . . . . . 6440 l,
hierzu für $87^3/_4$ Ruheminuten à 6,12 l = 537 l,

Im Ganzen 6977 l Exspirationsluft.

Diese Luft war bei 37,3° C. mit Wasserdampf gesättigt.

Nun enthält 1 l dampfgesättigte Luft bei 37,3° C. . . . . 0,04465 g Wasserdampf[1]),
die 6977 l also $6977 \times 0{,}04465 = 311{,}5$ g „ .
1 l gesättigte Luft bei 15,7° C. hat 0,01322 g „ ,
also die zu 81,8 pCt. gesättigte Inspirationsluft im Ganzen:
$6977 \times 0{,}818 \times 0{,}01322 = 75{,}4$ g „ .
Die Athemwege haben also abgedunstet: $311{,}5 - 75{,}4 = 236{,}1$ g „ .

Von der oben angegebenen Gewichtsabnahme auf dem Marsche	2384 g
sind durch Abgabe von C und Aufnahme von O bedingt	79,2 g
Auf Wasser kommen also	2304,8 g
Hiervon lieferte die Lunge	236,1 g
Es bleiben für die Haut	2068,7 g

Die Stickstoffausscheidung betrug an diesem Tage, wie vorstehend ausgeführt: $1{,}352 \times 471{,}2 = 637{,}3$ mg.

[1]) Interpolirt aus Landolt-Börnstein. Physik.-chem. Tabellen. 2. Aufl. Tab. 28. S. 63.

Es entfallen daher auf 1 l von der Haut ausgeschiedenen Wassers: 308,1 mg N.

Bei Marsch 23 am 26. Juni betrug die reelle Gewichtsabnahme des bekleideten Mannes auf dem Marsche 2225 g.

Der Weg betrug 26734 m, das Gewicht 99,155 kg; die Dauer des Marsches einschliesslich Ruhepausen 390 Minuten. Hieraus berechnet sich unter Zugrundelegung der vorher benutzten Mittelwerthe für den Gaswechsel eine Ausscheidung von . . . . . 195,9 g C

und eine Zurückhaltung von . . 116,6 g O_2

also durch den Gaswechsel . . . 79,3 g Gewichtsverlust.

Es bleiben für Wasserverlust . 2145,7 g

Zur Berechnung der Wasserverdunstung durch die Lungen dienten folgende Daten:

300 Marschminuten	à 21,22 l	Athemluft	= 6366 l
90 Ruheminuten	à 6,12 l	„	= 551 l
		Im Ganzen eine Lungenventilation	= 6917 l

Bei der mittleren Körpertemperatur von 37,97° C. enthalten diese 6917 l à 0,04603 g = 318,4 g Wasserdampf.

Die eingeathmete Luft enthielt bei 14,0° C. (entsprechend 0,01171 g im Liter) und 54,3 pCt. relativer Sättigung . . . . . = 44,0 g,

Wasserverdunstung der Lungen . . . . . = 274,4 g,

daher Wasserverdampfung der Haut . . . = 1871,3 g,

Hierzukommt eine durch Wasser bedingte Gewichtszunahme der Kleidung um . . . . . = 580,0 g,

also gesammte Wasserausscheidung der Haut = 2451 g.

Von der Stickstoffausscheidung dieses Tages

$$(1{,}352 \times 543{,}7) = 735{,}1 \text{ mg}$$

entfallen daher auf 1000 g Hautabsonderung = 299,9 mg.

Bei Marsch 26 endlich am 3. Juli betrug die reelle Gewichtsabnahme auf dem Marsche unter Zurechnung des in den Kleidern steckenden Wassers (575 g) = 3675 g. Weglänge = 26046 m, mittleres Gewicht = 90,385 kg. Der mittlere Sauerstoffverbrauch pro kg und 1000 m war bei diesen Märschen mit leichtem Gepäck = 112,78 ccm, der resp. Quotient = 0,81; hieraus berechnet sich für die Marscharbeit: 72,1 g O im Körper geblieben, 115,4 g C ausgeathmet.

Der Marsch dauerte einschliesslich Ruhepausen 355 Minuten, in welcher Zeit noch pro Minute 283 ccm O bei 0,81 RQ verbraucht wurden,

Das ergiebt 27,3 g O im Körper verblieben 43,6 g C ausgeathmet.
Im Ganzen 99,4 g O „ „ 159,0 g C „ „
Daher Gewichtsverlust durch die Athmung 59,6 g,
Also Wasserverlust des Körpers . 3615,4 g.

Die Lungenventilation betrug je 17,6 l in 280 Marschminuten . . . . . 4928 l
und je 6,12 l in 50 Ruheminuten. . . . . 306 l
Im Ganzen 5234 l

Bei 37,7° C. im Liter: 0,04557 g Wasserdampf, also in 5234 l . . . . . 238,5 g Wasser
Bei 26.4° C. und 54 pCt. Sättigung im Liter = 0,01339 g, in 5234 l . . = 70,1 g „
Wasserausscheidung der Lungen . . . 168,4 g

Demnach Wasserverlust durch die Haut . 3447 g.

Der im Schweiss abgesonderte N beträgt

$$1{,}352 \times 619{,}0 = 837 \text{ mg N.}$$

Wir haben also pro Liter Schweiss 243 mg N.

Wir haben also in den 3 Versuchen folgende Stickstoffmengen auf 1 l von der Haut abgesonderten Schweisses: 308
300
243
Im Mittel 284 mg N pro Liter.

Mit Hülfe dieser Zahl und des in den einzelnen Versuchen gemessenen Wasserverlustes durch die Haut haben wir für Herrn B. den wahrscheinlichen N-Verlust auf den Märschen berechnet und in die Tabelle des Bilanzversuches eingesetzt.

Unsere Versuche sind nicht zahlreich genug, um daraus sichere Schlüsse über den Stickstoffgehalt des Hautsecretes abzuleiten, nur soviel können wir sagen, dass die niedrigeren der von früheren Autoren gefundenen procentischen Werthe und speciell die vorher angeführten Zahlen von Jewdokimow am besten mit unseren Zahlen harmoniren. — Es ist wohl kaum ein Zufall, dass in unseren Versuchen der Procent-

gehalt des Schweisses niedriger wird, wenn die secernirte Menge wächst. Wir finden bei

Marsch	19	bei	2069	g	secernirten	Wassers	0,308	pCt N,
„	23	„	2451	g	„	„	0,300	„ „
„	26	„	3447	g	„	„	0,243	„ „

Hier liegen noch interessante Aufgaben für weitere Forschung vor.

Schliesslich möchten wir mit Argutinsky und Kramer betonen, dass alle Stoffwechselversuche am Menschen in der wärmeren Jahreszeit und besonders bei Arbeit erheblich fehlerhaft werden, wenn man die Stickstoffausscheidung durch die Haut nicht berücksichtigt.

b) Untersuchung des respiratorischen Gaswechsels.

1. Gesichtspunkte und Methode.

Wir hatten bei der Planung unserer Versuche die beiden Hauptfragen im Auge, ob in der Function irgend welcher Organe Störungen durch das Marschiren mit schwerem Gepäck auftreten, und ob die Anforderungen an die Kräfte und an den Stoffverbrauch innerhalb solcher Grenzen bleiben, dass sie durch die normale Ernährung bestritten werden könnten. Auf die letztere Frage versprach die Untersuchung der Athmung die zuverlässigste Auskunft. Sie allein konnte zu einer exacten Messung des Umsatzes der stickstofffreien Nährstoffe, deren Verbrauch ja bei Muskelarbeit in erster Linie gesteigert ist, führen. In Verbindung mit der Untersuchung der Ausgaben durch Harn und Koth und der Einnahmen in der Nahrung konnte sie eine vollkommene Bilanz des Stoffumsatzes im Körper liefern und so erkennen lassen, bei welcher Grenze der Beanspruchung des Marschirenden die Gefährdung seines Körperbestandes beginne. Frühere im thierphysiologischen Laboratorium der landwirthschaftlichen Hochschule ausgeführte Untersuchungen liessen ferner voraussehen, dass höhere Grade der Ermüdung sich in der Mechanik und dem Chemismus der Athmung deutlich verrathen würden. Jene Untersuchungen hatten gezeigt, dass bei starker Erschöpfung der arbeitenden Muskeln die gleiche Arbeit erheblich grösseren Sauerstoffverbrauch bedingt; dass ferner, sobald die Athmung oder die Herzthätigkeit insufficient werden und

in Folge dessen die thätigen Muskeln mit dem Blute nicht mehr ausreichende Sauerstoffmengen zugeführt bekommen, ein Steigen des respiratorischen Quotienten eintritt, d. h. die aufgenommene Sauerstoffmenge hinter der gleichzeitig ausgeschiedenen Kohlensäure zurückbleibt.

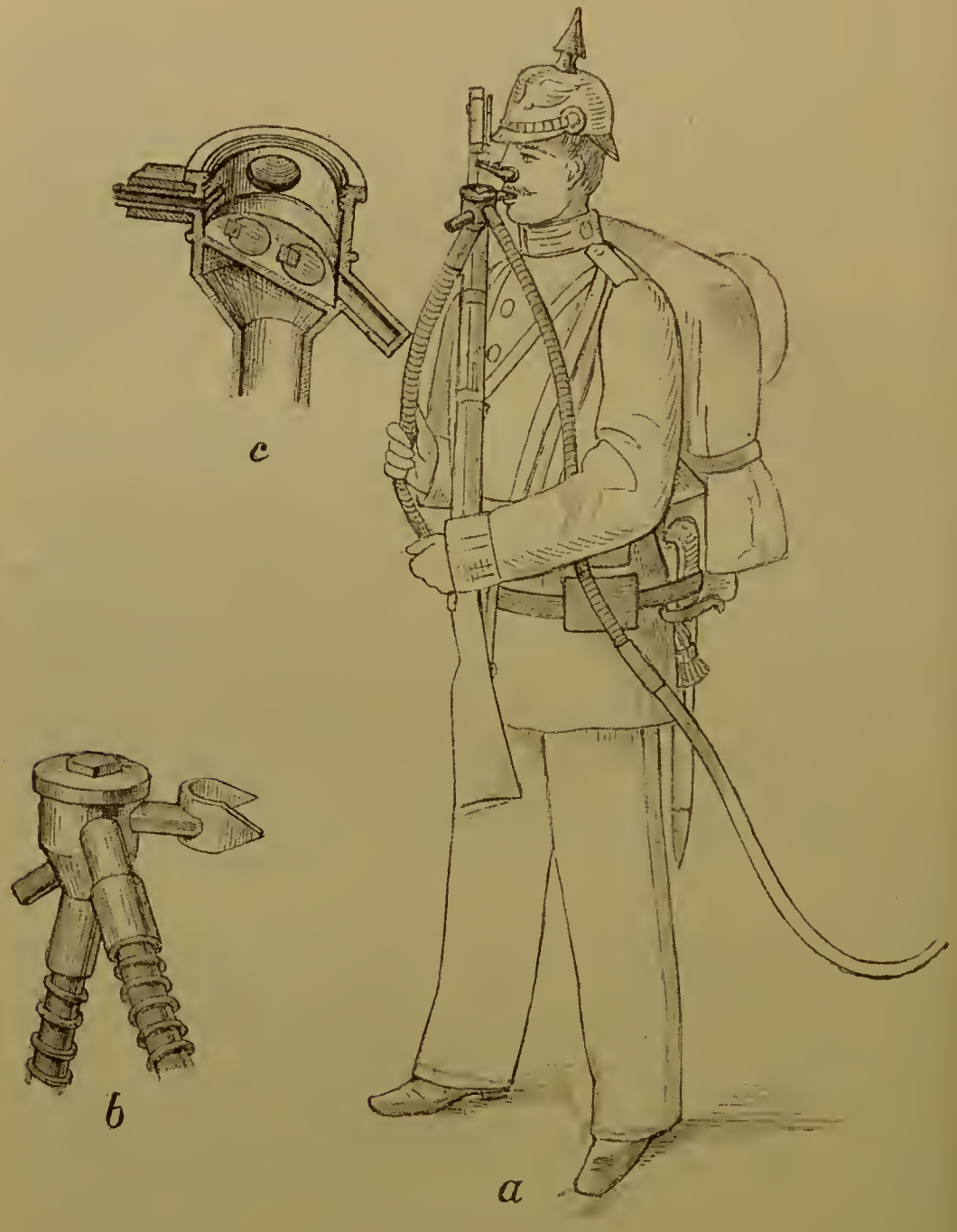
Aus dem Gesagten folgt, dass die Respirationsversuche so eingerichtet werden mussten, dass die mechanische Leistung des Respirationsappararates, also die Grösse der Lungenventilation, und ferner mit gleicher Genauigkeit Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung sowohl in der Ruhe als während des Marsches gemessen werden konnte. Es musste ferner, um den Effect des Marsches festzustellen, die Athmung sowohl beim Beginn als auch beim Schluss der Marschleistung untersucht werden. Allen diesen Anforderungen entsprach die zuerst von Geppert und Zuntz bei Thieren, später auch beim Menschen angewendete Methode, deren Princip darin besteht, dass die Versuchsperson bei geschlossener Nase durch ein Mundstück athmet, welches mit einem Ventilpaare in Verbindung steht, das Ein- und Ausathmungsluft von einander trennt. Während erstere bei unseren Arbeitsversuchen, welche im Freien stattfanden, ohne Weiteres der Atmosphäre entnommen wurde, deren Zusammensetzung wir ja als genügend constant betrachten können, wurde die ausgeathmete Luft durch eine Schlauchleitung einem sorgfältig geaichten Gasmesser zugeführt und auf diese Weise gemessen.

Das Arrangement des Mundstücks, der Schlauchleitung und der Nasenklemme zeigt Figur *a*. Die Form des Mundstücks und seine Verbindung mit dem Ventilgehäuse erklärt Figur *b*.

Das aus weichem Gummi gefertigte Mundstück hat die Form des vorderen Zahnbogens und wird zwischen diesem und den Lippen eingefügt. Für den luftdichten Schluss dieser Verbindung sorgt die Benetzung mit Speichel.

Die Anordnung der aus dünnen Gummiplättchen hergestellten, äusserst leicht spielenden Ventile zeigt der Schnitt Figur *c*. Die am Boden des Gehäuses sichtbaren Klappen öffnen sich bei der Inspiration, die eine an der Seitenwand befindliche bei der Exspiration. Entsprechend der grösseren Kraft des Exspirationsstromes genügt für ihn diese einzige Klappe, um, ohne dass eine Behinderung sich bemerkbar macht, etwa 25 Liter in der Minute ausathmen zu können. Die an das Exspirationsventil sich anschliessende, mit Draht

spiralig umwundene Schlauchleitung führt zum Gasmesser. Die Umwickelung mit Draht verhindert ein Knicken des Schlauches, ohne seiner Beweglichkeit in schädlicher Weise Eintrag zu thun. Diese äussere Umwickelung erfüllt den



Zweck, Knickungen zu verhüten, ebenso gut wie die früher von Geppert und Zuntz benutzten Einlagen von Drahtspiralen in die Kautschukschläuche und haben den Vortheil, dass sie die Innenfläche der Schläuche glatt lassen und daher

die Luftbewegung nicht erschweren. Der etwa 1 Meter lange Schlauch am Inspirationsventil ist eigentlich überflüssig, er hat aber den Vortheil, kleine Undichtigkeiten der Inspirationsventile unschädlich zu machen. Die geringen Mengen aus der Lunge stammender Luft, welche diese Ventile etwa durchlassen, gelangen während der Exspiration nicht über den Anfangstheil des Schlauches hinaus und werden bei der nächsten Inspiration ohne Verlust wieder in das Ventilgehäuse bezw. in die Lunge zurückgeführt. Wir haben uns durch besondere Versuche überzeugt, dass auf diese Weise selbst bei gröberer Undichtigkeit des Inspirationsventils keine Spur Kohlensäure der Messung entgeht.

Während die Hauptmasse der ausgeathmeten Luft nach der Messung aus dem Gasmesser ins Freie entweicht, wird ein stets gleicher Bruchtheil derselben vor dem Eintritt in den Gasmesser zur Analyse aufgesammelt, und zwar in der Art, dass die Analysenprobe einen genauen Durchschnitt der gesammten ausgeathmeten und gemessenen Luft darstellt.

Dies wird folgendermaassen erreicht: Das zur Aufsammlung der Gasproben dienende cylindrische Glasrohr communicirt mit seinem oberen nahezu capillar ausgezogenen Ende durch eine enge Rohrleitung mit der Leitung für die Exspirationsluft, dicht vor ihrem Eintritt in den Gasmesser. An seinem unteren verjüngten Ende setzt sich dies Rohr in einen langen Kautschukschlauch fort, dessen Ende eine gläserne Auslaufspitze trägt. Sammelrohr und Schlauch bis zur Auslaufspitze sind anfänglich mit saurem Wasser gefüllt und die Auslaufspitze steht im Niveau der oberen Capillare. Sie wird allmählich gesenkt und dem entsprechend fliesst das Wasser aus der Sammelröhre aus, und die der Exspirationsleitung entnommene Luft tritt an seine Stelle. Die Auslaufspitze ist an eine Schnur ohne Ende befestigt, welche über eine der verlängerten Gasmesseraxe aufsitzende Rolle läuft und weiter durch ein Rollensystem so geleitet ist, dass der Theil, an welchen man die Auslaufspitze durch eine Klemmschraube befestigt, bei der Bewegung des Gasmessers senkrecht nach unten geführt wird. So erzielt man ein Auslaufen der Flüssigkeit genau proportional der Umdrehung des Gasmessers, also auch proportional den Mengen der ausgeathmeten Luft.

Um die Dauer des einzelnen Versuches, welcher natürlich abgebrochen werden muss, sobald die Sammelröhre gefüllt

ist, den speciellen Anforderungen anpassen zu können, befinden sich auf der Axe des Gasmessers mehrere Rollen von stufenweise grösserer Abmessung. Die zur Führung der Auslaufspitze dienende Schnur wurde vor Beginn des Versuchs um die passende Rolle gelegt. Die Analysenprobe betrug bei den Ruheversuchen meist $\frac{1}{400}$ bis $\frac{1}{500}$ der ausgeathmeten Luftmenge, bei den Arbeitsversuchen $\frac{1}{600}$ bis $\frac{1}{1400}$.

Stets wurden 2 Analysen der Athemluft ausgeführt. Zu diesem Behufe wurden entweder 2 genau geaichte und an ihrem unteren Ende mit Theilung versehene Röhren, welche je 100 ccm fassten, gleichzeitig mit übereinstimmenden Proben der ausgeathmeten Luft gefüllt, oder die Probe wurde zunächst in einer grösseren, etwa 250 ccm fassenden Röhre über Quecksilber aufgefangen und später erst in die Analysenröhren übergefüllt. In diesem Falle wurde der Ausfluss des Quecksilbers aus der Sammelröhre in derselben Weise durch den Gang des Gasmessers geregelt, wie sonst der des Wassers. Sechs Quecksilberröhren von je 250 ccm Inhalt standen im Kreise auf einem Gestell, ähnlich den in den Laboratorien gebräuchlichen runden Pipettenhaltern. Unten communicirten sämmtliche Röhren durch Schläuche, welche Schraubenklemmen trugen, und ein verzweigtes Glasrohr mit dem Schlauch, welcher die Auslaufspitze trug und mit einem zweiten, welcher in einen Fülltrichter endete. Das aus der Spitze auslaufende Quecksilber fiel, um Verspritzen zu vermeiden, in einen weiten, wassergefüllten Trichter; aus diesem wurde es zeitweilig in den Fülltrichter abgelassen. Auf diese Weise genügten etwa 6 kg Quecksilber, um in allen 6 Röhren Gasproben zu sammeln und durch Quecksilber abgesperrt bis zur Analyse aufzubewahren.

Die Analyse selbst wurde in dem von Magnus Levy (Pflüger's Archiv, Bd. 55, S. 9—20) beschriebenen Apparate ausgeführt. Da ein Apparat zur Bewältigung der zahlreichen Analysen nicht ausreichte, wurde ein zweiter ganz gleicher konstruirt und sorgfältig geaicht. Nachdem dies geschehen, ergaben die zahlreichen, etwa alle 4—5 Tage ausgeführten Luftanalysen in beiden Apparaten übereinstimmende und von der normalen Zusammensetzung der Atmosphäre

(0,03 pCt. CO_2, 20,92 pCt. O, 79,05 pCt. N)

höchstens um 0,1 abweichende Werthe. Grössere Abweichungen wurden als ein Zeichen angesehen, dass irgend etwas am Apparate nicht in Ordnung sei. Die Fehler (zu starke Abnutzung der Kalilauge oder der Phosphorstangen in den Absorptionspipetten, Undichte der Schlauchverbindungen) wurden dann aufgesucht und beseitigt.

Einige Male wurden auch zur Kontrole grössere Mengen ausgeathmeter Luft in den beschriebenen Sammelröhren über Quecksilber aufgefangen und in beiden Apparaten analysirt. So fanden wir, als die Justirung des neuen Apparates noch nicht ganz vollkommen war:

2. Juni	Im alten Apparat	6,02	pCt.	Sauerstoffverbrauch,	5,22	pCt.	ausgeschiedene	Kohlensäure.
	„ neuen „	6.03	„	„	5,10	„	„	„
	„ alten „	6,08	„	„	5,19	„	„	„
	„ neuen „	6,09	„	„	5,07	„	„	„

2 Tage später, nachdem nochmals alles geprüft war:

4. Juni	Im alten Apparat	6,28	pCt.	Sauerstoffverbrauch,	5,08	pCt.	ausgeschiedene	Kohlensäure.
	„ neuen „	6,26	„	„	5,095	„	„	„
	„ alten „	6,16	„	„	4,92	„	„	„
	„ neuen „	6,16	„	„	4,89	„	„	„
5. Juni	„ alten „	5,13	„	„	4,40	„	„	„
	„ neuen „	5,17	„	„	4,56	„	„	„
	„ alten „	5,39	„	„	4,66	„	„	„
	„ neuen „	5,39	„	„	4,73	„	„	„

2. Ueberblick der Versuche.

(Generaltabellen im Anhang unter den analytischen Belägen.)

Die Respirationsversuche zerfallen in solche, welche am ruhenden Menschen, und in solche, welche während des Marsches angestellt wurden. Bei ersteren wurde möglichst vollkommene Ruhe dadurch erstrebt, dass die Versuchsperson auf einem bequemen Sopha mit leicht erhöhtem Kopfe gelagert und ihr aufgegeben wurde, alle Bewegungen nicht nur, sondern auch Spannungen der Muskeln möglichst zu vermeiden. Da es nach jeder Bewegung immer eine gewisse Zeit dauert, ehe die durch sie bedingte Erhöhung des Respirationsprocesses ganz abgeklungen ist, wurde nach dem Hinlegen immer einige Zeit, wenigstens 10 Minuten gewartet, ehe mit der Messung begonnen wurde. Auch jetzt begann

nicht gleich die Probenahme, sondern es wurde zunächst mehrere Minuten lang das Volumen der ausgeathmeten Luft abgelesen und erst dann mit der Probenahme begonnen, wenn dies Volumen sich als genügend konstant erwies. Ein Sinken desselben zeigte, dass der Athmende noch unter der Einwirkung der vorangegangenen Bewegung oder psychischer Erregung stand und es wurde gewartet, bis mehrere aufeinanderfolgende Minuten gleiche Werthe lieferten. Es muss übrigens ausdrücklich betont werden, dass diese Gleichmässigkeit keine absolute ist, dass vielmehr auch im Zustande vollkommener Ruhe, besonders deutlich im Schlafe, die Tiefe der einzelnen Athemzüge, die Schnelligkeit ihrer Folge und damit im Zusammenhang die in jeder Minute ausgeathmete Luftmenge nicht unerheblich schwankt. Diese an das bekannte Cheyne-Stokes'sche Athmen erinnernde Unregelmässigkeit, über welche schon Geppert und Zuntz[1]) bei Gelegenheit ihrer Studien über die Natur der Athemreize berichtet haben, sind von Mosso in einer grösseren Arbeit: „Periodische Athmung und Luxusathmung“[2]) eingehend studirt worden und haben von demselben Autor in neuester Zeit in seinem Buche „Der Mensch im Hochgebirge“ nochmals eine auch durch graphische Fixirung erläuterte Würdigung gefunden. Bei regelmässiger Arbeit, beim Marschiren z. B. lassen diese Unregelmässigkeiten der Athmung nach, sowohl die Tiefe als die Zahl der Athemzüge werden konstanter. Die Minutenventilation schwankt bei vollkommen gleichmässigem Gange kaum mehr als um die Grösse eines Athemzuges, je nachdem die Exspiration während der letzten Sekunden der einen oder in den ersten der nächsten Minute erfolgt. Immerhin kommen auf diese Weise, da die durchschnittliche Tiefe eines Athemzuges über 1 l beträgt, Schwankungen um mehrere Liter zu Stande, welche dann noch vergrössert werden, wenn die Tretbahn nicht ganz gleichmässig sich bewegte und dadurch Unterschiede in der Geschwindigkeit auftraten. Das Anwachsen der Lungenventilation von 5 bis 6 Litern pro Minute in der Ruhe bis auf die den Marschleistungen entsprechende Grösse von 15 bis 25 Litern erfolgt ziemlich rasch nach Beginn des Marsches, sodass in der 3. bis 4. Minute die

[1]) Geppert und Zuntz, Ueber die Regulation der Athmung. Pflüger's Arch. 42. S. 148 ff.

[2]) Archiv f. (Anat. und) Physiologie. 1886. Suppl. S. 37.

Höhe erreicht war. Dann erst begann die Probenahme zur Analyse. Durchschnittlich dauerte die einzelne Probenahme in der Ruhe 8—10, bei den Märschen 6—8 Minuten, d. h. etwa 3 mal so lange, als in den von Katzenstein ausgeführten grundlegenden Versuchen über den Stoffverbrauch des gehenden Menschen. Fast in allen Fällen wurden 2 Versuche hintereinander ausgeführt und zwar in der Art, dass die Athmung durch den Gasmesser und das Verhalten der Versuchsperson (absolute Ruhe oder Marsch in bestimmtem Tempo) nach Beendigung des ersten Versuches unverändert beibehalten wurde, bis der Beobachter die Gasprobe in Sicherheit gebracht und die Aufsammlung einer neuen vorbereitet hatte. Diese Manipulationen nahmen 1—5 Minuten in Anspruch. Nach Ablauf dieser Zeit begann die neue Probe.

Einen Ueberblick über sämmtliche Versuche gewähren die Generaltabellen am Schlusse des Buches, welche die Versuche der Zeit nach geordnet geben. Die 3 Hauptcategorien sind durch die Art des Druckes der Zahlen in der Art kenntlich gemacht, dass die Ruheversuche in fettem Druck, die Marschversuche vor Beginn des eigentlichen Uebungsmarsches, also in ausgeruhtem Zustande in gewöhnlichem Druck mit senkrecht stehenden Zahlen, die Marschversuche am Schluss des Uebungsmarsches, also im Zustande der Ermüdung, mit schräg liegenden Zahlen (cursiv) gegeben sind.

Die in Stab 2 angegebene Zeit ist der Beginn der Probenahme, die Zahl in Stab 3 giebt deren Dauer in Minuten, in Stab 4 ist die Art des Versuches gekennzeichnet: Es bedeutet:

R. Ruheversuch im Liegen,
hor. Marsch auf annähernd horizontaler Bahn,
St. „ „ ansteigender Bahn,
R. CO_2 Ruhe bei Athmung einer kohlensäurereicheren Luft.

Näheres über die Belastung ist unter „Bemerkungen“ am rechten Rande der Tabelle bezw. in den Fussnoten angegeben. — Was die hor. Märsche anlangt, so war es nicht möglich, die Tretbahn absolut horizontal zu stellen. Sie hatte vielmehr, wie das Mittel mehrerer Nivellirungen ergab, eine Neigung von 0° 6′ 30″ bergauf. Die auf die Wegeinheit entfallende Steigung entspricht bekanntlich dem Sinus dieses Winkels = 0,0018909. Es hob also der Marschirende bei

Zurücklegung von 1 m Weg seinen Körper um 0,0018909 m und leistete dadurch eine Arbeit von 1,8909 Grammmeter für jedes Kilogramm seines Gewichts (incl. Belastung). In Stab 6 der Tabellen ist diese geringe Steigung nicht aufgeführt, ebenso wie die zugehörige Steigarbeit in Stab 8. Dagegen hat bei der späteren Berechnung der Mittelwerthe des Verbrauchs und der Arbeitsleistung bei den verschiedenen Belastungen die Steigarbeit Berücksichtigung gefunden. Die Columnen 6 und 8 sind nur ausgefüllt, wenn die Steigung eine erheblichere war. Das in Stab 9 aufgeführte Volum der ausgeathmeten Luft ist das direct am Gasmesser abgelesene; ehe dieses zur Berechnung des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäureausscheidung (Stab 13 und 14) benutzt werden konnte, musste es natürlich unter Berücksichtigung des gerade herrschenden Luftdrucks und der Temperatur (Mittel der Ablesungen der beim Eingang und Ausgang des Gasmessers angebrachten Thermometer) auf 0° C. und 760 mm Druck reducirt werden. Die hierzu nöthigen Daten und das reducirte Volum selbst sind der Raumersparniss wegen nicht mit in die Tabelle aufgenommen worden, so dass dem Leser eine Controle der Reductionsrechnung nicht ermöglicht ist. Es sei daher ausdrücklich betont, dass diese Rechnungen alle zweimal, zuerst von den mit Ausführung der betreffenden Gasanalyse betrauten Studirenden (Herrn cand. med. Nehring oder Herrn cand. chem. Falk) dann von Professor Zuntz ausgeführt sind, so dass wir wohl für ihre Richtigkeit einstehen können.

Das Sauerstoffdeficit (Stab 10) bedeutet die Sauerstoffmenge, welche auf je 100 ccm ausgeathmeter Luft im Körper verblieben ist. Da wir wissen, dass der Stickstoff der eingeathmeten Luft ohne Aenderung in der ausgeathmeten wieder erscheint, da wir ferner wissen, dass die Luft im Freien (nur solche kam zur Athmung, da die Marschversuche im offenen Hofe stattfanden, für die Ruheversuche aber eine besondere Rohrleitung die Inspirationsluft von draussen zuführte) sehr constant auf 79,07 Vol. N 20,93 Vol. O enthält, ergab sich die Sauerstoffmenge, welche auf 100 ccm Ausathmungsluft den Lungen zugeführt wurde, aus dem Stickstoffgehalt a eben dieser Luft zu $\frac{a \cdot 20{,}93}{79{,}07}$ oder $a \cdot 0{,}2647$ ccm O. Von dieser Zahl wird der Sauerstoffgehalt der ausgeathmeten Luft

abgezogen, um das Sauerstoffdeficit zu finden. Letzteres, multiplicirt mit dem auf 0° und 760 mm reducirten Volum der pro Min. ausgeathmeten Luft und dividirt durch 100, ergiebt den Sauerstoffverbrauch pro Minute (Stab 13). Der Kohlensäurezuwachs (Stab 11) ist der analytisch gefundene Procentgehalt der ausgeathmeten Luft an CO_2 vermindert um 0,03 pCt., den CO_2-Gehalt der Luft im Freien. Der Kohlensäurezuwachs ergiebt die Kohlensäureausscheidung pro Minute (Stab 14) in derselben Weise wie das Sauerstoffdeficit den Sauerstoffverbrauch. Der resp. Quotient (Stab 12) ist das Ergebniss der Division von Stab 11 durch Stab 10. Die Zahl von Stab 15 ist durch Division des Sauerstoffverbrauchs pro Minute (13) durch den in der Minute zurückgelegten Weg (5) berechnet. Diese Zahl ist dann noch durch das Gewicht des Marschirenden (7) dividirt, um in Stab 16 den Sauerstoffverbrauch pro Kilogramm und Meter Weg zu geben. Diese letztere Zahl, welche, um lästige Decimalstellen zu vermeiden, in Cub.-Millimeter ausgedrückt ist, gestattet einen annähernden Vergleich des Sauerstoffverbrauchs in den zusammengehörigen Versuchen, in welchen meist Gewicht und Geschwindigkeit des Marschirenden nur wenig von einander abweichen. Speciell ermöglichen sie in fast allen Fällen eine Beurtheilung des der einzelnen Beobachtung anhaftenden Fehlers aus der Abweichung zwischen den beiden unmittelbar nach einander ausgeführten Bestimmungen. Die Zahl, welche den Verbrauch für 1 Meter Weg in Cubikmillimetern angiebt, drückt natürlich den Verbrauch für 1 km in der tausend mal grösseren Einheit, in Cubikcentimetern aus. Mit letzteren haben wir später meist gerechnet.

3. Discussion der Ruheversuche.

Für genauere Berechnungen muss von dem pro Minute gefundenen Sauerstoffverbrauch der des ruhenden Menschen abgezogen und der Rest, welcher den Verbrauch im Dienste der Arbeit darstellt, auf die Einheit der Arbeit (horizontale Bewegung von 1 kg um 1 m oder 1 km) bezogen werden. Das ist in den nachfolgenden Tabellen über den Verbrauch bei den einzelnen Belastungscategorien geschehen. Der bequemeren Rechnung wegen wurde meist der Ruheverbrauch pro Minute durch das Product von Weg und Ge-

wicht dividirt und der Quotient vom Gesammtverbrauch pro Kilogramm und Meter (Stab 16 der Generaltabellen) subtrahirt.

Da nicht an jedem Arbeitstage auch Ruheversuche gemacht werden konnten, da ferner der einzelne Ruheversuch mit einer mehrere Procente des Werthes betragenden Fehlermöglichkeit behaftet ist, andererseits aber, wie in den Arbeiten von Lehmann und Zuntz[1]), sowie von Magnus-Levy[2]) ausgeführt ist, der Gaswechsel des ruhenden Menschen bei constantem Ernährungs- und Verdauungszustand sich in längeren Zeiträumen nicht merklich ändert, haben wir aus allen Ruheversuchen, welche zur selben Tageszeit und bei ähnlichem Füllungszustande des Verdauungsapparates wie die Marschversuche angestellt sind, das Mittel genommen und dieses Mittel bei allen Marschversuchen zur Berechnung des Arbeitsverbrauchs verwendet.

Die in Betracht kommenden Ruheversuche sind in den nachfolgenden Tabellen 5 und 6 zusammengestellt.

Sie ergeben für

Herrn P. im Mittel von 20 Versuchen: O-Verbrauch = 283,02 bei 0.809 RQ.
„ B. „ „ „ 24 „ „ = 252,59 „ 0.836 RQ.

Wir haben statt der Kohlensäureausscheidung den aus ihr und dem Sauerstoffverbrauch berechneten respiratorischen Quotienten in die Tabellen eingesetzt und gemittelt, weil sich mit seiner Hülfe am bequemsten der dem Sauerstoffverbrauch entsprechende Energieumsatz berechnen lässt.

Die Ruhewerthe sind aber für uns nicht nur als Grundlage zur exacten Berechnung des Arbeitsverbrauchs wichtig, sie sind auch für sich betrachtet nicht ohne Interesse. Der höhere Verbrauch bei Herrn P. erklärt sich im Wesentlichen aus seinem höheren Körpergewicht. Es wiegen

am 30. April zu Anfang der Versuchsreihe:	P. 70,00 kg.	B. 65,00 kg.
„ 5. Juli „ Ende „ „	P. 67,25 „	B. 63,52 „
Im Mittel	P. 68.63 kg.	B. 64.26 kg.

Daraus ergiebt sich der Sauerstoffverbrauch pro Kilogramm und Minute

bei P. zu 4,12 ccm,
„ B. „ 3,93 „ .

[1]) Lehmann und Zuntz. Virchow's Arch. 150. Suppl. S. 173 ff.
[2]) Magnus-Levy. Pflüger's Archiv. 55. S. 1.

Tabelle 5.

Ruheversuche an Herrn P.

Datum	Stunde	Sauerstoffverbrauch pro Minute	RQ	Athemgrösse l
19. April	11 Uhr 59 Min.	292,2	0,745	6,06
7. Mai	9 „ 36 „	277,4	0,769	5,84
7. „	9 „ 49 „	271,2	0,745	5,60
7. „	10 „ 1 „	259,7	0,781	5,63
9. „	6 „ 56 „	294,8	0,745	5,76
9. „	7 „ 13 „	309,0	0,760	6,00
25. „	9 „ 29 „	280,6	0,772	5,74
25. „	9 „ 41 „	271,0	0,800	5,96
8. Juni	10 „ 27 „	260,7	0,794	5,46
8. „	10 „ 46 „	265,6	0,772	5,40
23. „	8 „ 56 „	301,9	0,856	6,87
23. „	9 „ 8 „	295,1	0,879	6,63
23. „	9 „ 19½ „	313,1	0,837	6,74
25. „	7 „ 27 „	242,3	0,869	5,47
25. „	7 „ 41 „	242,4	0,858	5,46
29. „	10 „ 54 „	279,0	0,829	6,24
29. „	11 „ 8 „	290,8	0,809	6,27
30. „	9 „ 42 „	322,7	0,884	7,58
30. „	9 „ 58 „	292,9	0,849	6,95
6. Juli	9 „ 48½ „	298,0	0,818	6,65
	Mittel (20):	**283,02**	**0,809**	**6,116**

Es zeigt also Herr P. auch für die Gewichtseinheit einen höheren Verbrauch als B. Der Unterschied beträgt aber kaum 4 pCt. des ganzen Werthes und erklärt sich aus der kräftigeren Entwickelung der Muskulatur bei P.

Unter sonst gleichen Bedingungen musste man nach dem Bergmann'schen Gesetz der Proportionalität zwischen Stoffverbrauch und Körperoberfläche erwarten, dass der leichtere B. einen grösseren Verbrauch für die Gewichtseinheit aufweisen würde; dieser Effect wird, wie man sieht, durch die Einwirkung der stärkeren Muskulatur übercompensirt[1]).

[1]) Vergl. die entsprechenden Beobachtungen Loewy's in seiner Arbeit über die Wärmeregulation des Menschen. Pflüger's Archiv. 46. S. 197 ff.

Tabelle 6.

Ruheversuche an Herrn B.

Datum	Stunde	Sauerstoffverbrauch pro Minute	RQ	Athemgrösse l
18. April	12 Uhr 36 Min.	232,5	0,78	5.51
28. „	12 „ 4 „	222,6	0,82	4.78
1. Mai	12 „ 8 „	237,9	0,77	4.92
4. „	10 „ 27 „	272,2	0,89	6,06
4. „	10 „ 40 „	240,8	0,81	5,33
4. „	10 „ 53 „	250.9	0,88	5,83
10. „	9 „ 45 „	254,2	0,85	5,68
10. „	9 „ 59 „	241,3	0,77	5,08
10. „	10 „ 13½ „	238,9	0,81	4,96
19. „	12 „ 51 „	252,1	0,73	4.91[1]
19. „	1 „ 6 „	217,1	0,76	4.26
21. „	10 „ 23 „	235,3	0,81	5,27
21. „	10 „ 36½ „	232,8	0.85	5.55
21. „	10 „ 51 „	233,2	0.86	5.64
25. „	10 „ 4 „	268,4	0,88	6,21
25. „	10 „ 15½ „	243,9	0,83	5,26
29. „	7 „ 18 „	272,5	0,86	5,97
29. „	7 „ 39½ „	268,0	0,93	6.92
23. Juni	10 „ 13 „	273,3	0,83	6,24
23. „	10 „ 25 „	265,9	0,81	5,79
25. „	9 „ 1 „	246,6	0,86	6,16
25. „	9 „ 15 „	228,1	0,86	5.86.
29. „	9 „ 42 „	301,2	0,88	7,10
29. „	9 „ 53½ „	312,0	0,84	7,02
2. Juli	9 „ 53 „	274,7	0,89	6,53
2. „	10 „ 38 „	251,0	0,88	6,37
Mittel (26)		**252,59**	**0.836**	5.739

Dass mit zunehmender Entwickelung der Muskulatur der Verbrauch des ruhenden Menschen zunimmt, ergiebt sich auch unzweifelhaft, wenn wir den Sauerstoffverbrauch der beiden Herren zu Anfang und am Schluss der Marschversuche vergleichen. Wie auf S. 31 ausgeführt, hat sich im Laufe der Märsche die Muskulatur bei sämmtlichen daran bethei-

[1]) Beginnt 27 Minuten nach beendigtem Marsch auf dem Tretwerk.

ligten Herren kräftiger entwickelt, während das Fettpolster abnahm und zwar so erheblich, dass das Körpergewicht am Ende der Versuchsreihe bei P. um 2,75 kg, bei B. um 1,50 kg niedriger war als am Anfang.

Es beträgt der Sauerstoffverbrauch

bei Herrn P.

für die ersten 10 Versuche 19. April bis 8. Juni: 278,2 ccm.
„ „ letzten 10 „ 23. Juni „ 6. Juli: 287,8 „ :

bei Herrn B.

für die ersten 14 Versuche 18. April bis 21. Mai: 240,1 ccm,
„ „ letzten 12 „ 25. Mai „ 2. Juli: 267,1 „ .

Die Zunahme des Sauerstoffverbrauchs tritt noch deutlicher hervor, wenn wir ihn auf das Kilogramm Körpergewicht berechnen.

Wir haben dann

bei P.'s ersten 10 Versuchen mittl. Gewicht = 68,84 kg; p. kg = 4,04 ccm O,
„ P.'s letzten 10 „ „ „ = 66,88 „ „ = 4,30 „ O,
„ B.'s ersten 14 „ „ „ = 64,24 „ „ = 3,74 „ O,
„ B.'s letzten 12 „ „ „ = 62,99 „ „ = 4,24 „ O.

Aus diesen Zahlen lässt sich die Grösse des Fehlers erkennen, welchen wir dadurch begehen, dass wir bei allen Arbeitsversuchen den mittleren Ruheverbrauch in Abzug bringen. Die grösste Abweichung kürzerer Zeitperioden von diesem Mittel zeigt Herr B. mit 267,1 ccm in der zweiten Hälfte des Versuches gegen 252,6 ccm im Durchschnitt.

Noch etwas grösser ist die Abweichung für die letzten 8 Versuche vom 23. Juni bis 2. Juli einschliesslich. Diese 8 Versuche weisen einen mittleren Sauerstoffverbrauch von 269,1 ccm auf, der das Mittel um 16,5 ccm übersteigt.

Nun ist der Sauerstoffverbrauch bei den Marschversuchen mit Belastung meist erheblich über 1000 ccm pro Minute. Wir machen also dadurch, dass wir in den letzten Versuchen 16,5 ccm zu wenig als Ruheverbrauch abziehen, einen Fehler, der kaum 1,5 pCt. des ganzen Werthes erreicht und noch in die Fehlergrenze der Messung fällt.

Die Abhängigkeit des Sauerstoffverbrauchs in der Ruhe von der Masse der Muskulatur und nicht von der Gesammtmenge der Körpersubstanz, welche in vorstehenden Zahlen hervortritt, harmonirt mit den Anschauungen der meisten Physiologen, steht aber in Widerspruch mit den Erfahrungen, welche Kellner bei der Mast der Rinder gemacht hat. Hier

wuchs der Energieverbrauch des Thieres bezw. sein Bedarf an Erhaltungsfutter fast genau proportional dem wachsenden Körpergewicht, obwohl der Zuwachs im Wesentlichen, wie stets bei der Mast erwachsener Thiere, aus Fett bestand.

Die bisher betrachteten und in den Tabellen 5 u. 6 zusammengestellten Ruheversuche sind alle in den Vormittagsstunden nach einem leichten Frühstück ausgeführt, das heisst unter denselben Verdauungsverhältnissen wie die Marschversuche. Wir haben nun noch einige weitere Versuche zu betrachten, welche den Einfluss der Verdauungsarbeit auf den Gaswechsel illustriren, und welche bei Besprechung der Stoffwechselbilanz in Capitel IV, S. 172 u. 179 eingehender gewürdigt sind.

Bei Herrn P. kommen hier zunächst die 3 Versuche am 7. Juli, die letzten der ganzen Reihe, in Betracht, welche 1—2 Stunden nach der Mittagsmahlzeit ausgeführt wurden. Sie ergaben:

2 Uhr 46 Min.	350,6 ccm O-Verbrauch,	0,79 RQ,	7,70 l Athemgrösse.
2 „ 57 „	338,4 „ „	0,77 „	7,26 l „
3 „ 36½ „	347,9 „ „	0,75 „	7,26 l „
Im Mittel . .	345,6 ccm O-Verbrauch,	0,77 RQ,	7,41 l Athemgrösse.

Sowohl der Sauerstoffverbrauch als die Athemgrösse übertrifft in diesen 3 Versuchen nicht nur das Mittel, sondern auch alle Einzelwerthe der Tabelle 5. Nur der Versuch vom 30. Juni 9 Uhr 42 Min. weist eine ähnliche Athemgrösse auf, wie er auch den grössten Sauerstoffverbrauch unter den 20 Versuchen hat. An diesem Morgen, an welchem nicht marschirt wurde, hatte P. reichlicher als sonst gefrühstückt, um 8½ Uhr 2 mit Wurst reichlich belegte Butterbrode nebst Milchkaffee verzehrt, während sonst das Frühstück nur aus 50—60 g Weissbrod mit Butter und einer Tasse Kaffee zu bestehen pflegte. Auch dieser Versuch illustrirt also den Einfluss der Verdauungsarbeit auf den Sauerstoffverbrauch.

Dasselbe gilt für den Versuch vom 21. April 12 Uhr 32 Min. Mittags mit 330,3 ccm O.-Verbrauch, 0,79 RQ, 6,30 l Athemgrösse. Hier hatte ein reichliches zweites Frühstück eine Steigerung des Gaswechsels zu Wege gebracht, welche der nach dem Mittagessen beobachteten nahe kommt. Der Versuch ist deshalb in Tabelle 5 nicht aufgenommen worden.

Im Vergleich mit dem Durchschnitt der 20 Versuche in Tabelle 5 (283,0 ccm) hat die Mittagsmahlzeit den Sauerstoffverbrauch um 22 pCt. gesteigert: im Vergleich mit den

10 letzten, zeitlich mehr zugehörigen Versuchen immer noch um 20 pCt.

Ganz entsprechend zeigt sich der Einfluss der Verdauungsarbeit bei Herrn B. Er wurde am 7. Juli früh nüchtern und dann zwischen $1\frac{1}{2}$ und 2 Uhr nach dem Mittagessen untersucht, mit folgendem Ergebniss:

Nr. 44 Min. nüchtern:	250,4 ccm O-Verbrauch,	0,84 RQ,	5,73 l Athemgrösse,
57 „ „	247,8 „ „	0,83 „	5,60 l „
Mittel nüchtern . .	**249,1** ccm O-Verbrauch,	**0,835** RQ,	5,67 l Athemgrösse.
Nr. $34\frac{1}{2}$ Min. Verdauung:	307,6 ccm O-Verbrauch.	0,79 RQ,	7,12 l Athemgrösse,
$45\frac{1}{2}$ „ „	301,0 „ „	0.81 „	7,39 l „
59 „ „	291,8 „ „	0.76 „	6,68 l „
Mittel verdauend . . .	300,1 ccm O-Verbrauch,	0,79 RQ,	7,06 l Athemgrösse.

Nach dem Mittagessen ist der Sauerstoffverbrauch gegen den nüchternen Zustand um 20,5 pCt., gegen den Durchschnitt der Morgenstunden nach leichtem Frühstück (252,6 ccm O) um 18,8 pCt. gesteigert. Nehmen wir wiederum wie bei P. nur den Durchschnitt der letzten 8 Morgenversuche (23. Juni bis 2. Juli) mit 269,1 ccm O-Verbrauch zum Vergleich, so beträgt die Steigerung nach dem Mittagessen nur 11,5 pCt. — Unter diesen 8 Versuchen finden sich allerdings 2 vom 29. Juni, welche ganz aus der Reihe fallende hohe Werthe aufweisen (301,2 und 312,0 ccm Sauerstoff pro Minute). Die wahrscheinliche Ursache dieser Anomalie ist eine leichte Darmreizung, welche kurz vor dem Versuch zu einer copiösen Entleerung von dünnem Stuhl geführt hatte.

Wir haben jetzt noch einige unter besonderen Verhältnissen angestellte Ruheversuche zu betrachten. Am 1. Mai athmete P. nicht wie sonst in horizontaler Lage, sondern auf dem unbewegten Tretwerk stehend, mit den Armen auf den einen Seitenbalken desselben gestützt, bei möglichster Entspannung der Muskeln. Es wurde gefunden

11 Uhr 53 Min. 268,6 ccm O-Verbrauch, 0,73 R Q, 5,56 l Athemgrösse.

Da seit dem leichten Frühstück mehrere Stunden vergangen waren, kann das Ergebniss als Nüchternwerth angesehen werden. Immerhin bleibt bemerkenswerth, dass der Sauerstoffverbrauch noch unter dem Durchschnitt der 10 Liegeversuche aus dieser Zeit (278,2 ccm) bleibt. Es wirkt also die aufrechte Körperhaltung, wenn

Muskelanstrengung möglichst vermieden wird, nicht steigernd auf den Stoffwechsel. Dies Resultat steht in Uebereinstimmung mit dem mehrerer von Katzenstein, Zuntz, Magnus-Levy gelegentlich angestellter Versuche, welche ebenfalls ergaben, dass bequeme aufrechte Haltung den Ruheverbrauch nicht steigert, während derselbe bei militärisch-strammer Haltung allerdings um etwa 20 pCt. erhöht wird. Diese Erfahrung lässt es berechtigt erscheinen, dass wir bei den Marschirversuchen das ganze Mehr an Sauerstoffverbrauch gegenüber der horizontalen Ruhelage auf die Arbeitsleistung des Marschirenden beziehen.

Von grossem Interesse ist es, zu wissen, wie sich der Verbrauch in der Ruhe nach grossen Anstrengungen verhält. Mancher wird zur Annahme neigen, dass dann vielleicht eine den grossen Mehrverbrauch compensirende Ersparung an Energie stattfinde. Zur Stütze dieser Annahme pflegt man vielfach die Versuche von Pettenkofer und Voit am Menschen anzuführen, in welchen die CO_2-Ausscheidung für je 12-stündige Tag- und Nachtperioden bestimmt wurde. Jene Versuche ergaben bekanntlich eine bedeutend niedrigere CO_2-Ausscheidung in der Nacht nach angestrengter Arbeit als nach Ruhe. Das erklärt sich aber vollkommen befriedigend daraus, dass der seiner Willkür überlassene Mensch mehr Bewegungen ausführt, sich strammer hält und einen weniger langen und ruhigen Schlaf hat, wenn er ausgeruht ist, als wenn er Tags über schwer gearbeitet hat. Es fallen also in letzterem Falle auf die 12 Nachtstunden erheblich weniger Muskelbewegungen und darum wird weniger Kohlensäure producirt.

Wie erheblich aber der Einfluss der ohne die Absicht zu arbeiten, ausgeführten Muskelbewegungen auf den Gesammtgaswechsel ist, das haben in letzter Zeit besonders die Versuche von Johansson in Stockholm, sowie von Atwater und Benedikt gezeigt, welche wir schon bei Erörterung der Stoffwechselbilanz (S. 174) besprochen haben.

Zuntz und Hagemann[1]) haben das Verhalten des Gaswechsels nach anstrengender Muskelarbeit eingehend beim Pferde untersucht und gefunden, dass nur durch grössere Muskelruhe eine Einschränkung des Verbrauchs möglich ist, dass aber der sonst in absoluter Ruhe beobachtete Energie-

[1]) Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit. Berlin. Parey. 1898. S. 267—269. Tab. XXXII.

umsatz unter gleichen Ernährungsbedingungen unverändert bleibt nach anstrengender mehrstündiger Arbeit.

Wir können zur Sache folgende Versuche beibringen: Am 9. Mai wurden an P. 2 Respirationsversuche vor Antritt des Marsches angestellt. Sie ergaben:

6 Uhr 56 Min.	294,8 ccm O-Verbrauch,	0,75 RQ,	5,76 l	Athemgrösse,
7 „ 13 „	309,0 „	„	0,76 „	6,00 l „
Im Mittel . .	301,9 ccm O-Verbrauch,	0,755 RQ,	5,88 l	Athemgrösse.

Die Werthe liegen etwas über dem Durchschnitt, ohne dass eine bestimmte Ursache hierfür angegeben werden kann.

Gleich nach der Rückkehr vom Marsche (No. 5) und dem Ablegen des Gepäcks legte sich P. auf's Sopha und der Respirationsversuch begann, noch ehe die durch die Arbeit erhöhte Lungenventilation ganz beruhigt war. Es wurden folgende Daten gewonnen:

12 Uhr 37 Min.	365,6 ccm O-Verbrauch,	0,79 RQ.	7,70 l	Athemgrösse,
12 „ 48½ „	311,0 „	„	0,69 „	6,08 l „
1 „ 2½ „	306,4 „	„	0,71 „	5,81 l „

Der erste dieser Versuche steht offenbar noch unter der direkten Nachwirkung der Arbeit und zeigt, wie das von Speck, Katzenstein, sowie von Lehmann und Zuntz beim Menschen, von Lehmann, Zuntz und Hagemann beim Pferde für die Nachwirkungsperiode gefunden wurde, erhöhten Sauerstoffverbrauch, aber noch mehr erhöhte Kohlensäureausscheidung, daher hohen respiratorischen Quotienten. Die Ursache hierfür ist, wie die genannten Autoren ausgeführt haben, zunächst darin zu suchen, dass die in den letzten Momenten der Arbeit verbrauchten Sauerstoffmengen erst nachträglich dem Blute von den Lungen her ersetzt werden müssen, ebenso wie die entsprechenden Kohlensäuremengen erst nachher zur Ausathmung gelangen. Dass aber die Kohlensäureausscheidung in dieser Periode mehr erhöht ist, wie die Sauerstoffaufnahme, hat seinen Grund darin, dass die, wie Geppert und Zuntz nachgewiesen haben, noch neben der Kohlensäure wirkenden, den thätigen Muskeln entstammenden Athemreize erst allmälig aus dem Blute verschwinden (oxydirt werden) und unter deren Einwirkung die erhöhte Lungenventilation länger andauert, als die Erhöhung des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäurebildung. Diese erhöhte Lungenventilation trägt nun zunächst mit dazu bei, dass Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung noch nicht zum Ruhe-

werth absinken können, denn die vermehrte Thätigkeit der Athemmuskeln bedingt, wie jede Muskelthätigkeit, eine nachher noch zu besprechende, der Arbeitsleistung proportionale Erhöhung der Oxydationsprocesse, welche pro Liter mehr geathmeter Luft etwa 3—8 ccm Sauerstoff entspricht.

Die verstärkte Lungenventilation bewirkt aber weiter, wie wir seit Vierordt's[1]) Versuchen wissen, eine Herabsetzung des Kohlensäuregehalts in der Luft der Lungenalveolen, welche ihrerseits einen vermehrten Uebertritt von Kohlensäure aus dem Blute in die Lungenluft und in zweiter Linie auch aus den Gewebssäften in's Blut zur Folge hat. Es verarmen also Blut und Gewebe bei der verstärkten Athmung an Kohlensäure und was sie verlieren, findet sich als Zuwachs in der ausgeathmeten Luft.

Nachdem dann die Lungenventilation zur Norm zurückgekehrt ist und dadurch der Kohlensäuregehalt der Alveolen wieder anwächst, stellt sich durch Zurückhaltung von Kohlensäure der frühere Gehalt des Blutes und der Gewebe an diesem Gase wieder her; es wird in dieser Periode weniger CO_2 ausgeschieden als gebildet und da der Sauerstoffverbrauch unverändert bleibt, sinkt jetzt der respiratorische Quotient unter den Werth, welcher der Natur der im Körper umgesetzten Stoffe entsprechen würde, gerade so, wie er vorher über diesen Werth gestiegen war. Dieses Sinken des respiratorischen Quotienten bis auf 0,69 sehen wir in dem zweiten, 12 Uhr $48\frac{1}{2}$ Minuten, etwa 15 Minuten nach Schluss des Marsches beginnenden Respirationsversuche, während eine Viertelstunde später im dritten Versuch wieder ein Ansteigen zum Normalwerth. (0,71) stattfindet. Wie (S. 226) ausgeführt, ist dieser Normalwerth nach dem Marsch stets niedriger als vorher. Der Sauerstoffverbrauch steht auch im dritten Versuche noch etwas über dem Durchschnitt unserer Ruheversuche, zeigt also, dass jedenfalls in den ersten 40 Minuten nach Schluss der Arbeit der Umsatz nicht unter den normalen Ruhewerth sinkt.

Eine willkommene Ergänzung erfährt dieses Resultat durch die Versuche vom 11. Mai nach Marsch 6 und vom 18. Mai nach Marsch 7. Während des Marsches 6 machte sich bei Herrn P. eine Tendovaginitis an einem Fusse geltend.

---

[1]) Physiologie des Athmens mit besonderer Rücksicht auf die Ausscheidung der Kohlensäure. Karlsruhe. 1845.

Schmerzhaftigkeit und Schwellung wuchsen während des Rückmarsches derart, dass die letzten 4 Kilometer im Wagen zurückgelegt werden mussten. Nachdem P. auf diese Weise schon eine Stunde geruht hatte, begannen die Respirationsversuche im Liegen. Sie ergaben folgende Werthe:

11 Uhr 5 Min.	286,1 ccm O-Verbrauch,	0,76 RQ,	5,74 l	Athemgrösse,
11 „ 21 „	263,3 „ „	0,70 „	5,30 l	„
11 „ 35½ „	271.1 „ „	0,83 „	6,10 l	„
Mittel	273,5 ccm O-Verbrauch,	0,76 RQ,	5,71 l	Athemgrösse.

An diesen Zahlen fällt das unregelmässige Schwanken der respiratorischen Quotienten, welche im Mittel einen normalen Werth ergeben, auf. Es erklärt sich aus den starken Schwankungen der Athemgrösse von Minute zu Minute, die auch noch im Durchschnitt der Versuche nicht ganz verwischt sind. Die ziemlich heftigen Schmerzen an der entzündeten Sehne waren offenbar die Ursache der unregelmässigen Athmung, welche ihrerseits dazu führte, dass die Kohlensäureausscheidung bald grösser bald kleiner als die gleichzeitige Bildung war. Die Sauerstoffaufnahme ist durch die unregelmässige Athmung nur wenig beeinflusst und zeigt Zahlen, welche mit denen der vorangehenden und nachfolgenden Ruheversuche durchaus übereinstimmen.

In den 3 Minuten von 11^{17} bis 11^{20} wurden 19,8 l, also 6,6 l pro Minute geathmet, d. h. 1,3 l mehr als während des Respirationsversuches von 11^{21} bis 11^{30}. Die letzten 2 Minuten dieses Versuchs aber wiesen nur eine Athemgrösse von 5,1 l, also noch etwas unter dem sehr niedrigen Durchschnitt auf. Dies erklärt vollkommen, dass hier CO_2 im Blute zurückgehalten wurde und der respiratorische Quotient nur 0,70 betrug. Gerade umgekehrt lagen die Verhältnisse beim dritten Versuche. 11^{33} bis 11^{35}, d. h. unmittelbar vor Beginn der Probenahme wurden nur 5,25 l pro Minute geathmet, gegen 6,10 l im Durchschnitt des Versuchs, dessen Schlussminute ausserdem die höchste Ventilation mit 7,6 l aufweist. So musste hier mehr CO_2 ausgeschieden werden, als gleichzeitig gebildet wurde.

Am 18. Mai begannen die Ruheversuche 28 Minuten nach Beendigung des Marsches auf der Tretbahn und erstreckten sich auf etwas mehr als eine halbe Stunde. Der letzte der 3 Versuche findet also eine Stunde nach Beendigung des Marsches statt. Wir stellen hier die Ergebnisse zusammen.

18. Mai	12 Uhr 44½ Min.	303.5 ccm O-Verbrauch.	0,75 RQ.	5,88 l	Athemgrösse.
	12 „ 57 „	306,0 „ „	0,77 „	6,16 l	„
	1 „ 10 „	307.3 „ „	0,77 „	5,96 l	„
	Mittel	305,6 ccm O-Verbrauch.	0,76 RQ,	6,00 l	Athemgrösse.

Das Mittel dieser drei Versuche liegt etwa eben soviel über dem Durchschnitt aller Ruheversuche wie das Mittel derjenigen vom 11. Mai unter demselben. Die 6 Versuche vom 11. und 18. ergeben zusammen folgende Mittelwerthe:

289,5 ccm O-Verbrauch, 0,76 RQ 5,85 l Athemgrössse.

Diese Zahlen weichen nur sehr wenig vom Mittel der in Tabelle 5, S. 217 zusammengestellten 20 Respirationsversuche ohne vorangegangene Arbeit ab. Dasselbe war

283,0 ccm O-Verbrauch, 0,81 RQ, 6,12 l Athemgrösse.

Nur der respiratorische Quotient weist einen erheblichen Unterschied auf und zwar in demselben Sinne und von derselben Grösse, wie er zwischen den Arbeitsversuchen am Anfang und am Schlusse der Märsche besteht. Wir werden später noch genauer ausführen, dass diese Aenderung durch den Verbrauch des Kohlenhydratvorraths im Laufe der Märsche bedingt ist.

Das geringe Plus von 6,5 ccm im Sauerstoffverbrauch liegt noch nahezu im Bereich der Versuchsfehler, es erklärt sich aber auch aus dem Umstande, dass dieselbe Sauerstoffmenge bei niedrigerem respiratorischen Quotienten eine geringere Energieentwickelung bedeutet. Berechnen wir nach den bei Erörterung der Bilanz des Stoffwechsels entwickelten Grundsätzen aus dem Sauerstoffverbrauch und dem zugehörigen RQ die im Körper pro Minute in Wärme umgesetzte chemische Energie, so finden wir[1])

für die 6 Versuche nach dem Marsche 1376 calorien,
„ „ 20 „ vor „ „ 1362 „

Wir können also sagen, dass nach erheblichen Anstrengungen der Umsatz des ruhenden Körpers weder erhöht noch herabgesetzt ist. Beachtenswerth ist noch die Thatsache,

[1]) Der Energieverbrauch ist hier aus dem respiratorischen Quotienten, unter der Annahme, dass nur Fett und Kohlenhydrate die Energie liefern, berechnet. Wenn der Eiweissumsatz bekannt wäre und berücksichtigt werden könnte, würden die Zahlen nur eine ganz geringe Aenderung erfahren, wie eine Ueberschlagsrechnung, deren Reproduction hier zu viel Raum einnehmen würde, uns ergeben hat.

dass am Schlusse des 4 bis 5stündigen Marsches, während dessen die Athemmuskulatur dauernd das 3- bis 4fache der in Ruhe stattfindenden Arbeit leistete, die Erregbarkeit des Athemcentrums und die Grösse der bei gleichem Reiz erfolgenden mechanischen Leistung der Athemmuskulatur unvermindert erscheint. In der Ruhe ist bekanntlich die Kohlensäure der wesentliche Regulator der Athemthätigkeit. Jede kleinste Erhöhung des Kohlensäuregehalts der Athemluft hat ein entsprechendes Wachsen der Athemgrösse zur Folge. Die Erniedrigung des respiratorischen Quotienten in den Versuchen am ermüdeten Menschen bedeutet nun eine Abnahme des Kohlensäuregehalts der Athemluft, damit eine Abnahme der Reize für das Athemcentrum.

Die pro Minute ausgeschiedene Kohlensäure beträgt

im Mittel der 20 Versuche am ausgeruhten Körper 229,2 cem.
„ „ „ 6 „ „ ermüdeten „ 220,0 „ .

Dem geringen Minus an Kohlensäure von 4,2 pCt. entspricht eine ebenso geringe Abnahme der Athemgrösse von 6.12 auf 5,85 l, d. h. um 4,6 pCt.

Die Erregbarkeit des Athemcentrums und die Leistungsfähigkeit der von ihm innervirten Muskeln ist also gegenüber den geringen Anforderungen des Ruhezustandes ganz unverändert geblieben.

Bei Herrn B. sind nur 2 Messungen der Ruheathmung im Zustande der Ermüdung ausgeführt worden, am 19. Mai nach Marsch 8. Der erste Versuch begann 26 Minuten nach Beendigung des Marsches auf dem Tretwerk, nachdem im Ganzen $5^3/_4$ Stunden lang mit den üblichen Pausen bei einer Belastung mit 24,5 kg marschirt war. Die Versuche sind in die grosse Tabelle der Ruheversuche mit aufgenommen, weil auch sie keine charakteristische Abweichung, abgesehen von dem niedrigen respiratorischen Quotienten, ergeben. Die Zahlen sind:

12 Uhr 51 Min.	252.1 cem O-Verbrauch,	0,73 RQ,	4,91 l	Athemgrösse.
1 „ 6 „	217,1 „	„	0,76 „	4,26 l „

Der Sauerstoffverbrauch entspricht im ersten Falle dem Durchschnitt aller Ruheversuche, im zweiten zeigt er den niedrigsten überhaupt an B. beobachteten Werth. Da es sich nur um einen einzigen Versuch handelt und da das Ergebniss mit dem unmittelbar vorhergehenden und mit dem an Herrn P. beobachteten Verhalten in Widerspruch steht,

können wir die Möglichkeit eines Versuchsfehlers nicht ausschliessen und wagen es daher nicht, weitere Schlüsse an diesen einen Versuch zu knüpfen.

Wir haben zum Schlusse der Besprechung der Ruheversuche noch einiger Experimente zu gedenken, welche zur Lösung einer bei Betrachtung der Arbeitsversuche sich aufdrängenden Frage angestellt wurden. Wir haben oben schon auf die Untersuchung von Geppert und Zuntz Bezug genommen. Dieselbe hat, zunächst für Hunde und Kaninchen, den sicheren Beweis erbracht, dass die Aenderungen im Gasgehalt des Blutes, welche bei Muskelarbeit auftreten, zur Erklärung der verstärkten Athmung nicht ausreichen, dass für dieselbe vielmehr das Auftreten besonderer dem Stoffwechsel der Muskeln entstammender und im Blute circulirender Reizstoffe (fixer Säuren nach Lehmann[1]) angenommen werden muss[2]). Der Beweis, dass der Kohlensäuregehalt des mit dem Gase der Lungenalveolen im Diffusionsgleichgewicht stehenden arteriellen Blutes die verstärkte Athmung bei Muskelarbeit nicht verursachen kann, war bei Hunden und Kaninchen leicht zu führen: Hier wird der Kohlensäuregehalt der Exspirationsluft und dem entsprechend der des arteriellen Blutes bei der Muskelarbeit niedriger als in der Ruhe. Das ist beim Menschen nicht der Fall. Ein Blick auf Stab 11 der beiden grossen Uebersichtstabellen lehrt, dass der Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft in den Arbeitsversuchen durchgehends höher ist, als bei Ruhe. Es fragt sich nun, ob dieses Mehr an Kohlensäure zur Erklärung des Wachsens der Athemgrösse ausreicht oder ob man auch hier die Mitwirkung der anderen oben erwähnten Stoffwechselproducte annehmen muss. Zur Beantwortung dieser Frage stellten wir am 2. Juli an Herrn B. und am 6. Juli an Herrn P. je 2 Versuche an, in welchen der Kohlensäuregehalt der Lungenluft dadurch erhöht wurde, dass wir der einzuathmenden Luft in stetigem Strom eine geringe Menge CO_2 zuführten. Diese Zufuhr, welche aus einer Bombe mit flüssiger Kohlensäure durch eine Waschflasche hindurch er-

---

[1]) Lehmann, Pflüger's Arch. 42. S. 284.

[2]) Ich halte diese Erklärung, trotz der Versuche, welche Filehne und Kionka zur Annahme peripherer, durch centripetale Nervenbahnen vermittelter Erregungen veranlasst haben, noch für die richtige und hoffe bald in die Lage zu kommen, diese Auffassung in Gemeinschaft mit Geppert genauer zu begründen (Zuntz).

folgte, konnte leicht so regulirt werden, dass die Athemgrösse unter dem Reiz des kohlensäurereicheren Blutes auf ähnliche Werthe wie bei der Muskelarbeit stieg. Die übliche Untersuchung der Exspirationsluft ergab deren Kohlensäuregehalt, der nun mit dem bei Muskelarbeit verglichen werden konnte. Näheres über die Technik dieser Versuche siehe bei Geppert und Zuntz[1]), Loewy[2]), Zuntz und Hagemann[3]).

Die Versuche an Herrn P. sind leider unbrauchbar, weil sich während derselben ein Hinderniss für die Drehung des Gasmessers zeigte, das nicht beseitigt werden konnte und das Auseinandernehmen des Instruments erforderte. Das Hinderniss war so bedeutend, dass es vielfach hustenartig forcirte Exspirationen nöthig machte, welche natürlich die Athemgrösse unabhängig vom Reiz der Kohlensäure mächtig steigerten. Wir haben daher in diesen 2 Versuchen eine Athemgrösse von 15,5 bezw. 14,2 l bei einem Kohlensäuregehalt der Exspirationsluft von 5,53 bezw. 4,78 pCt., d. h. bei einem Kohlensäuregehalt, welcher niedriger ist, als wir ihn häufig bei gleicher Athemgrösse in den Marschirversuchen an P. finden. Im Vergleich mit dem unmittelbar vorangehenden Normalversuch, der bei 4,07 pCt. CO_2 in der Exspirationsluft eine Athemgrösse von 6,65 l aufweist, zeigt das Mittel dieser 2 Versuche mit

14,88 l Athemgrösse bei 5,15 pCt. CO_2

einen Zuwachs von 8,23 l Athemluft auf ein Mehr von 1,11 pCt. CO_2, oder einen Zuwachs von 7,41 l auf 1 pCt. CO_2, das ist mehr als das Doppelte von dem, was Loewy l. c. und Winternitz[4]) in zahlreichen Versuchen an verschiedenen Menschen gefunden haben. Wir können daher aus diesen Versuchen keine Folgerungen ziehen.

Anders bei Herrn B. am 2. Juli. Da haben wir bei der Kohlensäureathmung

---

[1]) Geppert und Zuntz, Pflüger's Archiv 42, S. 189.

[2]) A. Loewy, Zur Kenntniss der Erregbarkeit des Athemcentrums. Pflüger's Archiv. 47. S. 601 und Verhandlungen der Berliner physiologischen Gesellschaft. 1891. No. 10 u. 11.

[3]) Zuntz und Hagemann, Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes. N. F. Berlin 1898. Cap. 8. S. 361 ff.

[4]) Winternitz, Ueber die Wirkung einiger Morphinderivate auf die Athmung des Menschen. Therapeut. Monatshefte. 1899. Sept.

1. Athemgrösse 15,96 l;	Kohlensäuregehalt 5,90 pCt.,	
2. „ 15,30 l;	„ 5,78 „	
Mittel: Athemgrösse 15,63 l;	Kohlensäuregehalt 5,84 pCt.	
Vor der Kohlensäureathmung	Athemgrösse 6,53 l;	Kohlensäuregehalt 4,16 pCt.,
nach der Kohlensäureathmung	„ 6,37 l;	„ 3,89 „
Mittel: Athemgrösse 6,45 l;	Kohlensäuregehalt 4,03 pCt.	
Im Mittel Zuwachs der Athemgrösse 9,18 l,	des Kohlensäuregehalts 1,81 pCt.	

Auf 1 pCt. Zuwachs an Kohlensäure wächst die Athemgrösse um 5,07 l. Auch hier erweist sich die Wirkung der Kohlensäure stärker als in den meisten Versuchen der oben citirten Autoren. Dennoch ist unverkennbar, dass bei Herrn B. der Zuwachs der Kohlensäure in der Lungenluft zur Erklärung der Athemgrösse bei der Arbeit lange nicht ausreicht. In der ganzen Reihe der Marschirversuche erreicht der procentische Kohlensäurezuwachs nur einmal den Werth 5,39 pCt. bei 21,28 l Athemgrösse (am 24. April), meist bleibt er unter 5 pCt., während die Athemgrösse bis zu 24 l ansteigt. Es kann also keinem Zweifel unterliegen, dass der Reiz der Kohlensäure nicht ausreicht zur Erklärung der Athemgrösse, dass also auch hier die von Geppert und Zuntz studirten Reize mitwirken.

Nebenher können derartige Versuche, in welchen die Athemarbeit ohne sonstige Muskelthätigkeit gesteigert ist, zur Messung des Energieaufwandes für die Athemarbeit dienen. Der Mehrverbrauch an Sauerstoff kann durch nichts Anderes, als die gesteigerte Athemarbeit bedingt sein, wie Zuntz und Hagemann (l. c.) ausführlicher dargelegt haben. Wir finden nun bei B. im Mittel der beiden CO_2-Versuche einen Sauerstoffverbrauch von 282,6 ccm, im Mittel der beiden zugehörigen Normalversuche einen Sauerstoffverbrauch von 262,8 ccm. Die Vertiefung der Athmung um 9,18 l erhöht also den O-Verbrauch um 19,8 ccm, oder je 1 l Lungenventilation bedingt einen Sauerstoffverbrauch von 2,16 ccm. — Loewy hat in seinen analogen Versuchen ähnliche, meist jedoch höhere Werthe gefunden; seine Zahlen schwanken zwischen 2,10 und 10,15 ccm O_2 pro l mehr geathmeter Luft.

Auch Speck fand höhere Werthe, als wir bei Herrn B. für die Wirkung der Athemarbeit auf den Sauerstoffverbrauch,

was sich wohl aus den etwas grösseren Widerständen seines Messapparates erklärt.

Wenn wir auch aus dem CO_2-Versuch an Herrn P. den Verbrauch pro 1 l Athemluft berechnen, finden wir

bei 14,88 l Ventilation	=	357,50 ccm	O-Verbrauch,
„ 6,65 l „	=	298.05 „	„
bei 8,23 l Ventilationszuwachs . . .	=	59,45 ccm	Mehrverbrauch.
Auf 1 l „ . . .	=	7,22 „	„

Dieser Werth ist sicher zu hoch, da ja Herr P. erhebliche Arbeit hat aufwenden müssen, um die oben erwähnten Athemhindernisse im Gasmesser zu überwinden.

4. Die Athmung während des Marsches.

Wie in No. 1 dieses Kapitels schon gesagt ist, wurde auf die Untersuchung der Mechanik und des Chemismus der Athmung während des Marsches besonderes Gewicht gelegt, weil sie uns nach verschiedenen Richtungen werthvolle Aufschlüsse versprach. Zunächst sollte sie die Grösse des ganzen durch die Marschirarbeit bedingten Stoffverbrauchs feststellen. Zu diesem Behufe fanden meist an den Herren B. und P. gleichzeitig je ein paar Respirationsversuche unmittelbar vor Antritt des gemeinschaftlichen Marsches aller 5 Herren statt und ebenso je ein paar Versuche unmittelbar nach der Rückkehr ins Laboratorium. Die Art des Marschirens und die Grösse der Belastung war in den meisten dieser Versuche genau ebenso, wie während des Marsches im Gelände. Das wurde ermöglicht durch das auf dem Hofe des thierphysiologischen Instituts aufgestellte Tretwerk, dessen genaue Beschreibung und Abbildung in den „Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes“ von N. Zuntz und C. Lehmann (Landwirthschaftliche Jahrbücher XVIII, 1889, S. 7—11 und Tafel I) zu finden ist. Das Wesentliche des Apparates ist eine langgestreckte Ellipse aus Holzbohlen, welche durch eiserne Axen beweglich miteinander verbunden sind. Ein in die Axen eingreifendes, im Innern der Ellipse angebrachtes Zahnrad dient zur Bewegung derselben. Dabei gleitet die obere Reihe der Bohlen, auf welcher der Marschirende frei steht, mit Hülfe von Rollen über eiserne Schienen, so-

dass hier eine geradlinige Fläche entsteht, auf welcher zwei Menschen mit einem Zwischenraum von etwa $1^1/_2$ m bequem stehen und marschiren können.

Diese Bahn wird während des Marschirens durch Maschinenkraft mit derselben Geschwindigkeit rückwärts bewegt, mit welcher der Marschirende vorwärts schreitet. Der letztere bleibt daher, trotzdem er ganz unbehindert und mit nicht mehr noch weniger Anstrengung als auf gewöhnlicher, guter Strasse marschirt, immer an derselben Stelle. Sein Athemschlauch kann daher auch ohne Schwierigkeit mit den feststehenden Apparaten zur Messung der Athmung verbunden werden.

Die Grösse der Bahn gestattet es, wie gesagt, 2 Menschen gleichzeitig hintereinander marschiren zu lassen; dementsprechend waren zwei Gasuhren zur Messung der ausgeathmeten Luft und zwei Apparate zu deren Analyse bereitgestellt. — Im Ganzen wurden an Herrn P. 146, an Herrn B. 120 tadellose Respirationsversuche gemacht. Bei jedem Versuche wurden mindestens zwei einander kontrolirende Analysen der ausgeathmeten Luft ausgeführt.

Ehe wir in die Erörterung des Chemismus der Athmung während des Marsches eintreten, wollen wir die in unseren Versuchen gleichzeitig gemessene Mechanik der Athmung kurz erörtern. Es existiren in der Litteratur nicht viele Angaben über die Art, wie sich bei körperlichen Leistungen die Athemmechanik dem Bedürfniss des Körpers anpasst. Die verdienstvollen Messungen von Smith, welcher mit Hülfe einer auf dem Rücken getragenen trockenen Gasuhr bei sehr verschiedenartigen Arbeitsleistungen die Lungenventilation studirt hat, wären hier in erster Linie zu nennen. Diese Versuche lehren uns zwar das bei verschiedenen Arbeitsleistungen geathmete Luftvolum kennen, sie geben uns aber meist nur unvollkommenen Aufschluss über die Grösse der Arbeit und vor Allem lassen sie uns im Stiche, wenn wir fragen, wie sich der Uebergang der Athmung von der Ruhe zum gesteigerten Arbeitswerth gestaltet. Unsere Methode, bei der fast regelmässig pro Minute der Stand des Gasmessers abgelesen wird, und bei der es leicht ist, durch gleichzeitige Zählung der Athemfrequenz auch die Tiefe jedes Athemzuges zu berechnen, ermöglicht die Ausfüllung dieser Lücke. In diesem Sinne haben schon Katzenstein, dann Lehmann und Zuntz bei ihren Versuchen am hungernden Menschen

Material geliefert, wir selbst haben bei unseren im Anschluss an diese Arbeit ausgeführten Messungen der Athmung unter der Einwirkung des Hochgebirges die Athemmechanik gebührend berücksichtigt.

Von besonderer Bedeutung ist für unsere Zwecke die schon S. 113 ff. an der Hand der Messungen der Vitalcapacität und der Zählung der Frequenz erörterte Frage nach den Störungen, welche die Ermüdung des Marsches an sich und die mehr oder weniger schwere Belastung in der Athemmechanik bewirken. Sehr starke Einwirkungen werden wir in dieser Hinsicht deshalb nicht erwarten können, weil gerade die beiden hier in Frage kommenden Herren P. und B., wie die Prüfung der Vitalcapacität schon

Tabelle 7.

Athemgrösse per Minute (P.).

Datum		Vor dem Marsch					Nach dem Marsch				
		1. Minute	2. Minute	Minimum	Maximum	Mittel	1. Minute	2. Minute	Minimum	Maximum	Mittel
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5. Mai	I.	14,4	15,2	14.4	18,6	16,65	13,9	15,7	13,8	16,3	15,17
8. „	I.	18,1	14,8	14,8	20,2	18,72	19.3	18,9	16,6	20,0	18,30
11. „	I.	16,1	17,0	16,1	19,0	17,75					
18. „	I.					17,55					17,65
19. „	I.	16.1	16,2	15,0	17,8	16,33	19,4	16,9	14,2	19,4	16,57
22. „	II.	18.5	17,5	16,9	22,0	17,12	19,3	20,6	14,4	20,6	16,36
23. „	II.	19,6	19.5	17,1	20,4	19,24	17,4	20,6	17.4	20,6	19,07
28. „	II.						16,4	19,8	16,4	23,1	19,52
29. „	II.	17,6	18,8	17,6	19,8	18,76	20.4	21,9	18,8	21,9	20,17
30. „	II.	18,4	18,6	17,1	19,4	18,13	20,1	20,5	19,8	21,1	20,52
2. Juni	II.	20,4	21,4	18,6	21,4	19,33	22,1	23,5	21,2	23,5	22,31
6. „	III.	18,8	20,0	16,8	28,8	19,34	21,7	22,1	21,2	23,0	22,05
13. „	III.	17,9	19,5	17,9	20,1	19,31	23,1	22,5	20,4	23,1	21,89
16. „	III.	19.6	19,3	17,8	20,4	19,64	20.3	21,0	18.4	21,4	19,33
19. „	IV.	21,1	21,9	21,1	23,9	22,34	18,0	19,8	17.6	20,8	19,58
20. „	IV.	22,1	19,0	19,0	22,1	19,75	18.3	20.0	18,2	20,0	18.98
21. „	IV.	19,6	20,4	19,6	22,2	21,39	21,3	24,0	20,9	23,3	22,32
26. „	IV.	20,6	20,9	19,3	22,1	20,93	21.4	21.9	20,1	22,8	21,52
27. „	IV.	20,4	19,7	18,8	21,1	20.00	23,8	21.1	18,3	23,8	20.02
28. „	IV.	21.2	23,4	21,2	23,5	22,56	25,0	25.7	20,5	25,7	22,31
3. Juli	I.						17,8	18,2	16.4	18,7	17,60
4. „	I.	22,0	20,4	17,8	22.0	18,42	17,4	17.3	16.0	19,7	18,29
5. „	I.	19.8	18,9	17,3	19,8	17,82	17,5	16,9	16,1	18,5	17,32

ergeben hat, besonders grosse Resistenz des Athemapparates aufwiesen. Einen Ueberblick über die Gestaltung der Lungenventilation unter dem Einfluss der Märsche giebt Tabelle 7 und 8. Die römischen Ziffern nach dem Datum in der

Tabelle 8.
Athemgrösse per Minute (B.).

Datum			Vor dem Marsch					Nach dem Marsch			
			1. Minute	2. Minute	Minimum	Maximum	Mittel	1. Minute	2. Minute	Minimum	Maximum
1			2	3	4	5	6	7	8	9	10
30.	April	I.	14,1	14,7	14,1	16,2	15,42				
2.	Mai	I.	19½	22	17½	23	18,88				
5.	„	I.	11	18½	10¼	28¾	19,17				
8.	„	I.						14¼	24¼	14¼	24¼
9.	„	I.	19,0	18.0	17.0	19,4	18.00				
11.	„	I.	18,0	19¼	16¾	21,0	18,80	16,2	17,2	15,8	18,0
18.	„	II.	16,4	17,2	14,8	17,5	16,29				
19.	„	II.	18½	16½	16½	20½	18,01	15½	16½	15	17¾
22.	„	II.	18½	18¾	16½	20½	18,78	18¼	18¾	17¾	22
23.	„	II.	15	19	15	21	20,40	19	19½	17¼	20½
30.	„	II.	19½	18¼	18¼	22¼	20,61	17¼	20¾	16½	21
2.	Juni	II.	18¼	21¼	18¼	21¾	19,92	20½	18¾	18	20¾
8.	„	III.						17,2	18.7	17,2	20,35
9.	„	III.	17,2	16,6	16,6	20,1	18,92	21,5	19,5	18	21,5
13.	„	III.	17¾	19	17½	20	18,19	18¼	20	18¼	21¾
16.	„	III.	21	20	19	23	20,74	16	19	16	22
19.	„	IV.	21	25	21	28	24,33	22¾	22¾	21½	24¾
20.	„	IV.	20	21½	20	26	24,23	21	22	19	22¾
21.	„	IV.	18	21	18	25	23,28	19¾	24¼	19¾	24¾
26.	„	III.	16¾	21½	16¾	24¼	21,92	23	22½	21¼	23¾
28.	„	III.	21	23	19½	26	23,04	22¼	23¾	21¼	23¾
3.	Juli	I.						19	23	19	23¾
5.	„	I.	19	20½	19	23	20,77	19¾	20	19	23

ersten Kolumne bezeichnen die Grösse der Anstrengung: die Ziffern I—III entsprechen unserer stets angewandten Eintheilung der Märsche nach der Schwere der Belastung. IV bezeichnet die Märsche, in welchen auf der Tretbahn nach Ablegung des Gepäcks bergauf marschirt wurde. Im Allgemeinen erscheint bemerkenswerth, wie schnell sich die Athmung dem gesteigerten Bedürfniss anpasst. Die in Kolumne 2 und 7 aufgeführte Athmung der ersten Beobachtungsminute

ist nur ganz wenig verschieden vom Durchschnitt, welcher in den Kolumnen 6 und 11 aufgeführt ist. Dabei ist allerdings zu bemerken, dass der Marsch durchgehends schon $^1/_2$—1 Minute im Gange war, ehe die erste Ablesung der Gasuhr erfolgte.

Der Vergleich der mittleren Athemgrösse der Schlussmärsche und Anfangsmärsche lässt von einer Ermüdung der Athemmuskulatur Nichts erkennen, im Gegentheil ist gerade nach den anstrengenden Märschen der Kategorien II und III die Ventilation meist am Schlusse ausgiebiger, als vor Antritt des grossen Marsches, so bei P. am 2. Juni und 13. Juni; am letzteren Tage war sogar die Marschgeschwindigkeit am Schluss etwas geringer als Anfangs und doch verstärkte Athmung. Da der Kohlensäuregehalt der Exspirationsluft, also wohl auch der des Blutes, am Schlusse fast regelmässig niedriger ist als Anfangs, weil der respiratorische Quotient durch den Verbrauch der Kohlenhydrate herabgesetzt ist, muss die Verminderung des Kohlensäuregehalts durch die Zunahme anderer Reize übercompensirt sein. Das können nur die S. 228 schon erwähnten, von Geppert und Zuntz als Athemreize nachgewiesenen Stoffwechselprodukte der Muskelthätigkeit sein (vgl. noch S. 230).

Von besonderer Bedeutung für die Beurtheilung der vorangegangenen Anstrengung ist die Art, wie die Athmung nach beendeter Arbeit wieder zur Ruhenorm zurückkehrt. In den mehrfach erörterten Respirationsstudien an Pferden sind diese Verhältnisse genauer erforscht worden. Es ist dort nachgewiesen, dass jede übermässige Anstrengung die Folge hat, dass die Athmung noch viele Minuten nach Beendigung der Arbeit hoch bleibt, während sie nach einer den Kräften des Thieres angemessenen Arbeit in wenigen Minuten zur Ruhenorm zurückkehrt. Aehnliches lehrt uns die tägliche Erfahrung beim Menschen. Nach übermässiger Anstrengung besteht noch viele Minuten lang heftige Athemnoth, die offenbar mit sehr vermehrter Lungenventilation einhergeht. Das Fehlen solcher Athemnoth ist ein sicheres Zeichen, dass die Anstrengung keine übermässige war. Wie sich in dieser Hinsicht Herr P. verhielt, zeigt Tabelle 9, S. 236 u. 237. Der mit „Uebergangsminute“ überschriebene Stab enthält die Athemgrösse der Minute, in welcher der Stillstand begann. Die neben der Athemzahl eingeklammerte kleine Ziffer besagt, wie viel Sekunden auf den Stillstand entfallen.

Tabelle No. 9. Nachwirkung der Marscha

Vor dem Marsch.

Datum	Athemgrösse pro Minute l	Frequenz pro Minute	Athemtiefe ccm	Athemgrösse nach der Arbeit: Letzte Arbeitsminute	Uebergangsminute	1. Ruheminute	2. Ruheminute	3. Ruheminute	4. Ruheminute	
8. Mai	18,72			19,5	19,2 (50)	14,5	10,1	8,6		
11. „	17,75			18,8	13,0 (50)	10.8	8,8	7,4		
18. „	17,55									
19. „	16,34			15.9	15,3 (45)	11,5	9,3	8,1	7.7	
22. „	17,12			16,3	18,4 (15)	17.0				
23. „	19,24			19,8						
26. „	18,58			18,3	17,6 (5)	14.3	10,1	8,7	9.2	
28. „										
29. „	18,76			19,5	17,8 (35)	11.0	9,5	8.2	8.0	
30. „	18,14			18,2	17,1 (40)	13,9	12.5	10,8	10,4	1
2. Juni	19,33			19,2						
6. „	19,34	19	1018	17.3						
13. „	19,31	$19^1/_2$	990	20,1	15,6 (45)	9,2	8.6	8.2	7,3	
16. „	19,64	16	1227	19,4	20,0 (30)	12,6	8.8	8,0	7.1	
19. „ bergauf ohne Gep.	22,34									
20. Juni	19,75									
21. „	21,39									
26. „	20,93	19	1102	21,6	21.0 (7)	16,6	10,8	9,2	8,8	
27. „	20,00	19	1053	20,2	20,6 (15)	11.9	9.5	9.1		
28. „	22,56	21,5	1049	20,5	19,4 (50)	12,8	8,5	7.9	7.7	
3. Juli										
4. „	18,42	17	1083	18.0						
5. „	17,82	20	891	17,8						
	393,03			320,4		155,1	106.5	94.2	66.2	4
Mittel	(21)18,72			(17)18.85		(12)12,92	(11) 9,68	(11) 8.56	(8) 8.275	(6)

[1]) Athemgrösse der nächsten Minuten: 8,2, 7.4.
[2]) „ „ „ „ 6,9.

die Athmung bei Herrn P.

Nach dem Marsch.

Minute	Frequenz pro Minute	Athemtiefe ccm	Athemgrösse nach der Arbeit: Letzte Arbeitsminute	Uebergangsminute	Ruheminute 1.	2.	3.	4.	5.
8.30			17,0	16,2 (55)	10,2	11,2			
7.65									
6.57			14,2	16,5 (10)	11,6	8.8	8,3		
6,36			17.8						
9.07			19,4						
9.52									
0.17			20,0		14,2	9,4	7,6	6,8	
0.52			21,1	18,6 (15)	17,0	15,1	10,9		
2,31			18,3	18,9 (40)	14.8	11,1	10,0	9,0	8,6 [1]
2,05	20	1102	22,1	22,2 (10)	16,1	10,0	11,2	8,4	10,4 [2]
1.09	23	917	20,4	16,0 (35)	11,4	8,6	8,2	8,0	
0.33	12½	1546	18.8	18,5 (10)	15,8	11,2	7,6	7,5	8,3
0,58									
3,98									
2.32									
1,52	21	1025	21,1	20,7 (30)	16.2	10,5	9,1	8,0	8,0 [3]
3,02	13	1540	20,3	19,1 (15)	15.3	10,3	9,1	8,4	8,8
2.31	16½	1352	22,2	16,2 (40)	17,8	15,2	10,5	10,4	8,9 [4]
7.60	19½	903	17,7	19,8 (10)	15,6	10,8	8,3	7,5	6,6
3.29	19	963	18.3	18,8 (?)	9,9	7,7	7,9	6,3	
7.32	16½	1050	16,1	17,4 (30)	11,5	7,7	6,6	5,6	5,2 [5]
0,88			304,8		197,4	147,6	115,3	85,9	64,8
19,57			(16) 19,05		(14) 14,10	(14) 10,54	(13) 8,87	(11) 7,81	(8) 8,10

[1]) Athemgrösse der nächsten Minuten: 8.1, 7,3, 6,6, 7,2.
[2]) „ „ „ „ 7,5, 7,4.
[3]) „ „ „ „ 9,6.
[4]) „ „ „ „ 8,0, 8,1. Die einzelnen Athemzüge ab-
[5]) sind sehr flach und sehr tief.
6. Minute: 6,1. Während des Marsches Tiefe zwischen 600 und 1500 schwankend.

In der 2., längstens in der 3. Minute ist die Athmung schon auf die Hälfte des Arbeitswerthes abgesunken und nach etwa 5 Minuten ist meist der Ruhewerth erreicht. Die Ermüdung am Schlusse der Märsche spricht sich darin aus, dass die Athemgrösse in den ersten Nachminuten etwas höher ist, als zu Anfang.

Wir wenden uns nunmehr zur Betrachtung der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung während des Marsches.

Einen Ueberblick gewähren die Seite 211 schon in ihrer Einrichtung besprochenen Generaltabellen. Um eine eingehendere Analyse zu ermöglichen haben, wir die ihrer Natur nach zusammengehörigen Versuche in Specialtabellen zusammengestellt und im Anschluss an diese auch den Abzug des Ruheverbrauchs vom gesammten Stoffumsatz ausgeführt, wodurch dann der Einfluss der Arbeit rein hervortritt.

Bei Berechnung der Ergebnisse musste ferner berücksichtigt werden, dass die obere Fläche der Tretbahn nicht ganz horizontal stand, vielmehr mit dem Horizont einen Winkel von 0° 6' 30" bildete, wie durch wiederholte sorgfältige Nivellirung festgestellt wurde. Behufs dieser Nivellirung waren an beiden Seiten der Tretbahn, an den starken Balken, welche die Führungsschienen der Bahn trugen, ebene Metallplatten angebracht, auf welche eine 2 m lange, sehr sorgfältig gearbeitete Nivellirlatte mit Stahlspitzen aufgelegt wurde. Die Neigung dieser Latte wurde dann mit Hülfe eines mit Libelle versehenen Quadranten, der seinerseits auf einem 75 cm langen Holzlineal aufgeschraubt war, gemessen. Die Ablesungen am Quadranten, aus deren 6 immer das Mittel genommen wurde, waren auf etwa $^1/_2$ Winkelminute genau.

Um den Antheil der geringen Steigung am Gesammtumsatz berechnen zu können, wurden besondere Steigversuche bei stärker (im Winkel von 3° 44' 15") geneigter Bahn ausgeführt. Dies war leicht ausführbar, weil das hintere Ende des die Bahn stützenden Balkenwerks auf 2 Winden ruhte und mit Hülfe derselben leicht in jede beliebige Neigung gebracht werden konnte.

Abgesehen von der Nothwendigkeit der Steigversuche zur Berechnung der übrigen Resultate sollten dieselben uns auch noch eine practisch bedeutungsvolle Frage entscheiden. Sie sollten Auskunft darüber geben, ob die Wirkung der Er-

müdung, welche, wie wir schon in dem vorläufigen Bericht betont haben, zu einer Steigerung des Verbrauchs bei gleicher Arbeit führt, sich auch dann geltend macht, wenn die Arbeit von derjenigen, welche die Ermüdung bewirkt hatte, verschieden ist, in unserem Falle, wenn an Stelle des horizontalen Marsches mit schwerem Gepäck ein Bergaufsteigen ohne Gepäck tritt. Um den Effekt des Bergaufsteigens zu studiren, stellen wir in Tabelle P_1 die Versuche, in welchen Herr P. unbelastet auf fast horizontaler Bahn marschirte und in Tabelle P_2 diejenigen, in welchen er ebenfalls unbelastet bergauf stieg, zusammen. Die Tabellen B_1 und B_2 geben die entsprechenden Zahlen für Herrn B.

Tabelle P_1.

Horizontaler Schritt ohne Belastung (P.).

Marsch No.	Datum	Vor dem Marsch: Weg	Gewicht	Sauerstoffverbrauch pro Minute	Kohlensäureausscheidung pro Minute	Resp.-Quot.	Sauerstoffverbrauch pro kg und 1000 m ccm	Bekleidung
9	22. Mai	72,95	74,20	914,5	765,6	0,84	168,95	Uniform,
		74,97		904,3	796,6	0,88	162,6	Waffenrock
—	26. „	75,04	73,95	908,7	775,6	0,85	163,8	Uniform,
		75,91		923,4	773,2	0,84	164,5	Waffenrock
—	1. Juni	74,75	73,00	798,1	654,0	0,82	146,3	Civilanzug
		58,21		721,3	583,5	0,81	172,45	
—	4. „	76,45	71,85	848,9	677,5	0,80	154,55	„
		82,38		937,0	706,4	0,75	158,3	
—	18. „	70,81	71,65	821,5	629,7	0,77	161,9	„
Mittel		**73,50**	**72,93**	864,2	706,9	**0,82**	**161,48**	

Um nun den Verbrauch für die Arbeit zu finden, müssen wir von dem gesammten Sauerstoffverbrauch den Antheil des Ruhestoffwechsels subtrahiren. Da Herr P. in der Ruhe durchschnittlich 283,02 ccm O verbraucht, beträgt der Verbrauch bei 72,93 kg Gewicht für jedes Kilogramm

$$\frac{283{,}02}{72{,}93} = 3{,}881 \text{ ccm pro Minute.}$$

Tabelle P_2. Marsch bergauf bei einer Steigung von

Marsch No.	Datum	Vor dem Marsch					
		Weg	Gewicht	Sauerstoff-verbrauch pro Minute	CO_2-Aus-scheidung pro Minute	Resp.-Quot.	Sauerstoff-verbrauch pro kg u. 1000 m
—	18. Juni	70,99 71,23	71,65	1276,9 1299,4	959,8 1039,3	0,75 0,80	251.0 254.6
20	19. „	72,50 72,72	73,30	1433,4 1410,8	1208,6 1219.5	0,84 0,86	269,7 264,6
21	20. „	70,47 69,55	73,97	1437,2 1357,8	1143,8 1156,1	0.80 0.85	275,7 263,95
22	21. „	71,68 71,44	73,15	1341.3 1337,6	1088,6 1158,0	0.81 0,87	255,8 256,0
Mittel aller Versuche		**71,32**	**73,02**	1361,8	1121,8	**0,822**	**261.42**
Mittel d. 3 Marschtage		**71,39**	**73,47**	**1386,3**	**1162,4**	**0,838**	**264.30**

Da in der Minute ein Weg von 73,50 m zurückgelegt wird, kommt auf die für 1 km Weg erforderliche Zeit ein Ruheverbrauch von $\frac{3{,}881 \times 1000}{73{,}50} = 52{,}801$ ccm pro kg. Diese Zahl, subtrahirt von dem Gesammtverbrauch bei Bewegung von 1 kg um 1000 m (161,48 ccm), ergiebt den Verbrauch für die eigentliche Arbeit zu 108,68 ccm. Da die Steigung der annähernd horizontalen Bahn 0°6'30" betrug, entsprechend einer Erhebung um 1,8909 m pro 1000 m Weg, repräsentirt der Verbrauch von 108,68 ccm die Energiemenge, welche zur Horizontalbewegung des Körpers um 1 km und zur gleichzeitigen Leistung einer Steigarbeit von 1,8909 mkg erforderlich ist.

In gleicher Weise berechnet sich der Ruheverbrauch für das Mittel der 8 Steigeversuche in Tabelle P_2 zu $\frac{283{,}02 \times 1000}{73{,}02 \times 71{,}323} = 54{,}334$ ccm pro kg und 1000 m Wegs

$3^0\ 44'\ 15'' = 65{,}186$ mm pro Meter Weg. (P.)

Nach dem Marsch						Belastung während des Marsches
Weg	Gewicht	Sauerstoff-verbrauch pro Minute	Co_2-Aus-scheidung pro Minute	Resp.-Quot.	Sauerstoff-verbrauch pro kg u. 1000 m	
70.53	72,90	1409,1	1132,2	0,80	274,0	31,2
70.265		1392,6	1128,0	0,81	271,9	
67.92	72,92	1323.8	1007,5	0,76	267.3	27,0
68.685		1272,0	1010,5	0,79	254,0	
70.96	73,05	1516.1	1157,9	0,76	292,5	31,5
70.16		1515,8	1209,1	0,80	295,8	
69.75	**72,96**	**1404,9**	**1107,5**	**0,787**	**275,92**	

Es bleiben daher $261{,}42 - 54{,}334 = 207{,}086$ ccm für die Arbeit der Fortbewegung von 1 kg Masse um 1 km und der gleichzeitigen Hebung dieser Masse um 65,186 m.

Um aus diesen Daten den Verbrauch für 1 km reiner Horizontalbewegung einerseits, für 1 mkg Steigarbeit andererseits zu finden, setzen wir 2 Gleichungen an, in welchen die erstere Unbekannte mit x, die zweite mit y bezeichnet wird. Die Gleichungen lauten auf Grund der vorstehenden Daten:

$$\text{I.}\quad x + 65{,}186\ y = 207{,}086$$
$$\text{II.}\quad x + 1{,}8909\ y = 108{,}680$$

Hieraus berechnet sich

$x = 105{,}74$ ccm Sauerstoffverbrauch für die Horizontalbewegung von 1 kg um 1000 m.

$y = 1{,}555$ „ Sauerstoffverbrauch für 1 mkg Arbeit geleistet durch Heben des Körpers beim Bergaufgehen auf sanft geneigter Strasse.

Tabelle B_1.

Horizontaler Marsch ohne Belastung (B.).

Marsch No.	Datum	Vor dem Marsch: Weg pro Min.	Gewicht	Sauerstoffverbrauch pro Minute	Kohlensäureausscheidung pro Minute	Resp. Quot.	Sauerstoffverbrauch pro kg und 1000 m ccm
9	22. Mai	73,00 76,02	69,10	813,7 827,7	714,5 727,8	0,880	161,3 157,6
—	26. „	74,98 76,38	67,95	769,8 866,5	645,5 746,5	0,850	151,1 167.0
—	1. Juni	74,75 75,74	68,25	847,3 819,7	748,6 703,7	0,870	166,0 158,7
—	1. „	89,21 88,91	68,00	1080,5 993,3	855,8 832,7	0,815	178,1 164,5
—	11. „	72,84 72,40	67,30	766,8 726,4	576,7 540,3	0,745	156.4 149,1
—	15. „	72,70	67,05	802,7	678,9	0.850	164,7
—	18. „	70,66	67,80	684,3	563,2	0,820	142,8
Mittel		**76,465**	**67,92**	**833,2**	**694,5**	**0,833**	**159,775**

Nach dem Marsch zeigt P. für die gleiche Arbeit des Bergaufsteigens einen grösseren Sauerstoffverbrauch. Wenn wir von dem Mittelwerth 275,92 (Tabelle P_2) den Antheil des Ruhestoffwechsels mit $\frac{283,02}{72,96 \times 69,75} = 55,62$ ccm abziehen, so bleiben als Aequivalent für die Zurücklegung von 1000 m Weg bei einer Steigarbeit von 65,186 mkg 220,30 ccm Sauerstoff, d. h. 13,21 ccm mehr als im Mittel der 8 Versuche vor der Arbeit. Wenn wir aus diesen letzteren die vom 18. Juni ausscheiden, an welchem kein Marsch statt-

[1]) Bei dem respiratorischen Quotienten 0.82 entspricht 1 ccm O 4.825 calorien; die 105,47 ccm, welche für 1 km Horizontalbewegung verbraucht werden, entsprechen daher 105,47 × 4.825 cal. = 509 calorien.

gefunden hat, ergiebt sich aus den 6 übrigen Versuchen das Mittel:

264,3 ccm O-Verbrauch, 0,838 RQ bei 73,47 kg Gewicht und 71,39 m Weg.

Aus letzteren Daten berechnet sich der Antheil des Ruhestoffwechsels zu $\frac{283{,}02}{73{,}47 \times 71{,}39} = 53{,}96$ ccm, so dass für die Arbeitsleistung 210,34 ccm zu rechnen sind.

Diesem Werthe gegenüber ist der Verbrauch nach dem Marsche nur um 9,96 ccm gesteigert, d. h. um 4,7 pCt.

Da leider keine Versuche existiren, in welchen Herr P. nach dem Marsche ganz unbelastet ging, können wir den oben benutzten analoge Gleichungen nicht ansetzen. Wenn wir in der oben benutzten Gleichung I die Zahl 207,086 durch den Sauerstoffverbrauch nach dem Marsche 220,30 ersetzen, so ergiebt die Rechnung

$x = 105{,}33$ ccm O für die Horizontalbewegung pro kg und km,
$y = 1{,}763$ „ O für 1 mkg Steigarbeit,

d. h. wenn man die gewiss nicht richtige Annahme macht, dass die weniger ökonomische Arbeit des Ermüdeten nur die Hebung des Körpers betreffe, würde der Verbrauch für 1 mkg Steigarbeit von 1,55 auf 1,76 cm, d. h. um 13,5 pCt. gewachsen sein. Ohne dieser Rechnung weiteren Werth beizulegen entnehmen wir ihr die Correctur der kleinen Steigarbeit von 1,8909 mkg pro kg und 1000 m Weg in den Versuchen nach dem Marsche. Sie beträgt also $1{,}8909 \times 1{,}763 = 3{,}345$ ccm O. Indem wir bewusst diesen zu hohen Werth anwenden, sind wir sicher, dass die Steigerung des Verbrauchs, welche wir nach den Märschen als Folge der Ermüdung finden, keinesfalls zu hoch berechnet wird.

Wir wenden uns nun zu den entsprechenden Versuchen an Herrn B., welche in Tabelle B_1 und B_2 zusammengestellt sind. Dieselben ergaben eine sehr befriedigende Uebereinstimmung mit dem Verbrauch des Herrn P. bei gleicher Leistung.

Der Ruheverbrauch beträgt bei Herrn B. pro Minute

252,59 ccm Sauerstoff bei 0,836 RQ.

Da beim Bergaufsteigen vor den Märschen in der Minute

Tabelle B_2. Marsch bergauf bei einer Steigung

Marsch No.	Datum	Vor dem Marsch: Weg	Gewicht inel. Belastung	Sauerstoffverbrauch ccm	CO_2-Ausscheidung pro Minute	Resp.-Quot.	Sauerstoffverbrauch ccm
	18. Juni	71,08 71,44	67,80	1167,3 1164,1	989.3 1000,4	0.85 0,86	242.2 240.3
20	19. „	72,63 70,78	68,05	1325,6 1282,2	1093,7 1122,0	0,83 0,87	268.2 266.2
21	20. „	70.78 69,61	68,14	1358,2 1295,2	1100,3 1141,0	0,81 0,87	281.6 273.1
22	21. „	71,44 71,00	67,25	1284.6 1199,6	1033,9 1040,7	0,80 0,87	267.4 251.2
Mittel		71,095	67,81	1259.6	1065,2	0,846	261.27
Ruheverbrauch .							52.39
Antheil der Arbeit							208,88
Mittel 19.—21. 6. (Marschtage) .		71,04	67,78	1290,9	1088,6	0,843	267,95

71,095 m Weg zurückgelegt wurden und das bewegte Gewicht 67,81 kg betrug, entfällt auf das kg und km Weg ein Ruheverbrauch von $\frac{252,59}{71,095 \times 67,81} = 52,39$ ccm.

Nach den Märschen beträgt die entsprechende Zahl

$$\frac{252,59}{69,61 \times 66,956} = 54,19 \text{ ccm.}$$

Für die in Tabelle B_1 zusammengestellten Märsche auf der fast horizontalen Bahn ist die entsprechende Zahl

$$\frac{252,59}{76,465 \times 67,921} = 48,634 \text{ ccm.}$$

Wenn wir die vorstehenden 3 Zahlen für den Ruheverbrauch von den zugehörigen Mittelwerthen der Tabellen abziehen, erhalten wir folgende Zahlen für den Sauerstoffver-

von 3° 44′ 15″ = 65,186 mm pro Meter Weg. (B.)

Nach dem Marsch						Belastung während des Marsches
Weg	Gewicht incl. Belastung	Sauerstoffverbrauch pro Minute	CO_2-Ausscheidung pro Minute	Resp.-Quot.	Sauerstoffverbrauch ccm	
70.55	66,90	1313.6	986,6	0,75	278,3	31,23
70,12		1288,5	1039,7	0,81	274,7	
67.94	66,52	1252.5	900,3	0,72	277,1	27,00
68,79		1251.7	952,3	0,76	273,5	
70,65	67,45	1344,1	953,1	0,71	282,1	31,50
69,610	66,96			0,750	277,14	
					54,19	
					222,95	
		1290,1	966,4			

brauch bei Fortbewegung von 1 kg um 1 km, neben welche wir die entsprechenden Zahlen bei Herrn P. zum Vergleich stellen.

1. Unermüdet bei 65,186 mkg Steigarbeit 208,88 ccm gegen 207,09 bei Herrn P.
2. Ermüdet bei 65,186 mkg Steigarbeit 222,95 ccm gegen 220,39 bei Herrn P.
3. Unermüdet „ 1,8909 „ „ 111,14 ccm gegen 108,68 bei Herrn P.

Die sub 1 und 3 angeführten Zahlen lassen sich, wie dies für die entsprechenden von Herrn P. oben schon geschehen ist, zu folgenden 2 Gleichungen verwerthen.

$$\text{I. } x + 65{,}186\ y = 208{,}88,$$
$$\text{II. } x + 1{,}8909\ y = 111{,}14.$$

Hieraus berechnet sich

x = 108,22 ccm O_2-Verbrauch[1]) für Horizontalbewegung pro kg und km.

y = 1,544 „ O_2 „ „ 1 mkg Steigarbeit.

Auch diese Zahlen harmoniren befriedigend mit den für Herrn P. berechneten

x = 105,74 ccm O,

y = 1,555 „ O.

Um die Wirkung der vorangegangenen Marschanstrengung auf den Verbrauch richtig ermitteln zu können, müssen ebenso wie bei P. die besonders niedrigen Werthe vom 18. Juni ausgeschaltet werden.

Es bleiben zum Vergleich folgende Mittelwerthe:

Vor dem Marsch: bei 71,04 m Weg, 67,78 Gewicht 267,95 ccm O-Verbrauch, 0,843 RQ. Hiervon ab für Ruheverbrauch $\frac{252,59}{71,04 \times 67,78} = 52,46$ ccm O-Verbrauch. Es bleibt Verbrauch für 1 km Marsch und 1 kg = 215,49 ccm O.

Dagegen hatten wir nach dem Marsch gefunden bei 69,61 m Weg, 66,96 kg Gewicht = 222,95 ccm O-Verbrauch 0,750 RQ.

Trotz der geringeren Marschgeschwindigkeit, welche, wie wir noch sehen werden, an sich den Verbrauch für die Wegeinheit herabsetzt, haben wir also nach dem Marsche einen Mehrverbrauch von 7,4 ccm O = 3,4 pCt. des Anfangswerthes. Bei Herrn P. hatten wir den entsprechenden Mehrverbrauch zu 9,96 ccm = 4,7 pCt. bestimmt. Wenn wir wie bei Herrn P. in die obige Gleichung den mittleren Sauerstoffverbrauch nach dem Marsche (277,14 ccm abzüglich 54,19 ccm für den Antheil des Ruhestoffwechsels)

= 222,95 ccm einsetzen, ergiebt sich

x = 107,80 „ O pro kg und 1000 m horizontal,

y = 1,766 „ „ für 1 mkg Steigarbeit (ermüdet),

1,8909 y = 3,340 „ „ für die Steigarbeit bei 1000 m Weg auf der Tretbahn.

Wir können aber hier noch auf anderem Wege einen Werth für die Steigarbeit finden; bei Herrn B. hat nämlich

[1]) Bei dem mittleren respiratorischen Quotienten der Versuche in Tabelle B_1 und B_2 = 0,84 entspricht 1 ccm O der Entwickelung von 4,85 cal., wir haben daher für 1 km Horizontalbewegung von 1 kg 108,22 × 4.85 = 525 cal. Dieser Werth ist in den Bilanzversuchen zur Berechnung der täglichen Geharbeit (Schrittzähler) benutzt. Vergl. S. 173.

die Belastung bis zu den höchsten Werthen, wie wir noch sehen werden, an sich keinen Einfluss auf den Verbrauch pro kg und m. Wir können daher auch den Verbrauch am Schluss der horizontalen Märsche mit mässiger Belastung (Tabelle B. 7) (166,92 — 44,31) = 122,61 ccm O für die zweite Gleichung benutzen und finden dann y = 1,585 ccm, 1,8909 y = 2,998 ccm; x = 119,61; benutzen wir in derselben Weise die tadellosen Versuche mit 31 kg Belastung (Tabelle B. 5), so finden wir y = 1,791 ccm O, also 1,8909 y = 3,387 ccm; x = 106,19 ccm Sauerstoff. Wir können daher bei allen horizontalen Märschen auf dem Tretwerk 3 ccm Sauerstoff als annähernd richtigen Antheil der Steigarbeit im ermüdeten Zustande abziehen.

Der Energieverbrauch ist nun aber nach dem Marsche nicht einmal so viel gesteigert, wie der Sauerstoffverbrauch, weil nach dem Marsche der respiratorische Quotient erheblich niedriger ist, als beim Beginn desselben. Das beruht, wie S. 255 ausgeführt ist, darauf, dass während des Marsches der Kohlenhydratbestand des Körpers grossentheils aufgebraucht ist, und daher am Schlusse des Marsches relativ mehr Fett und weniger Kohlenhydrate verbrennen.

Tabelle P_3.

Horizontaler Gang mit Belastung von etwa 22,0 kg. (P.)

Marsch-Nummer und Datum	Vor dem Marsch				Nach dem Marsch				Last	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit in pCt.	Bewölkung
	Weg	Gewicht	Resp.-Quot.	Sauerstoffverbrauch	Weg	Gewicht	Resp.-Quot.	Sauerstoffverbrauch				
26 3. Juli		(92,30)			73,10 74,88	90,90	0,78 0,83	165,6 157,8	22,0	26,1	54	4
27 4. „	77,18 76,29	91,20	0,83 0,88	153,6 148,4	74,93 74,70	91,00	0,78 0,79	162,4 155,0	22,0	17,2	77½	6
28 5. „	75,15 74,88	90,88	0,82 0,85	151,9 145,2	74,50 75,04	89,58	0,76 0,77	156,8 154,8	22,0	18,1	67	8
Mittel	**75,875**	**91,04**	**0,845**	**149,77** [1]	**74.525**	**90,49**	**0,785**	**158,73** [2]				

[1] Steigerung gegen den Ruhewerth aufs 3,65fache.
[2] Steigerung gegen den Ruhewerth aufs 3,78fache.

Wir betrachten jetzt jene Versuche, in welchen auf dem Tretwerk ganz in derselben Weise wie während des grossen Marsches marschirt wurde. Diese Versuche können wir in 4 Kategorien theilen, eine erste, welche die Zeit der Einübung umfasst, während welcher das Gepäck allmählich gesteigert wurde; in dieser Periode haben wir auch mehrfach auf dem Tretwerk mit geringerer Belastung als auf dem grossen Marsche arbeiten lassen, indem wir das Gewehr, öfter auch den Tornister vor Beginn des Respirationsversuches ablegen liessen. Diese Versuche sind in den Tabellen P. 7 und B. 7 zusammengestellt. Die übrigen, nach vollendeter

Tabelle P_4. Horizontaler Gang mit Belastung

Marsch-Nummer	Datum	Vor dem Marsch					
		Weg	Gewicht	Pro Minute: Sauerstoffverbrauch ccm	Pro Minute: Kohlensäureausscheidung ccm	Resp.-Quot.	Sauerstoffverbrauch ccm
9	22. Mai	71,20	94,85	979,2	833,6	0,85	145,0
		72,50		1017,2	854.8	0,84	147.9
10	23. „	72,74	96,03	1104,5	935,0	0.85	158,1
		76,60		1140,6	972,1	0,85	155.1
	26. „	77,23	95,85	1084,4	863,0	0,80	146,5
		76,49		1087,2	852,1	0,78	148,3
11	28. „						
12	29. „	76,28	94,90	1025.6	880,9	0,86	141.7
		76,12		1037,9	895,9	0.86	143.7
13	30. „	73,44	95.12	1004,0	829,0	0,83	143,7
		75,68		1000,8	839,8	0,84	139.0
14	2. Juni	76,65	95,90	1100,7	954,3	0,87	149.7
		75,92		1061.8	907,6	0,85	145,8
Mittel		**75,07**	**95,44**	**1053,7**	**884,8**	**0.84**	**147,04** [1]
Ruheverbrauch ber. auf 1 km und 1 kg							**39.50**

[1]) Der Sauerstoffverbrauch beim Marschiren übertrifft den Verbrauch in der Ruhe
[2]) Die erste Zahl drückt aus, wie viel Zehntel des Himmels bewölkt sind, die

Einübung ausgeführten Versuche haben wir, ebenso wie für alle früheren Betrachtungen, nach der Schwere des Gepäcks in 3 Kategorien getheilt:

Leichte	Belastung etwa	22 kg,	Tabelle	P. 3 und	B. 3,
mittlere	„ „	26—27 „	„	P. 4 „	B. 4,
schwere	„ „	31 „	„	P. 5 „	B. 5.

Aus den letzten Versuchen haben wir bei Herrn B. die während des Bilanzversuches im Anschluss an Marsch 23 und 25 ausgeführten gesondert und in Tabelle B. 8 zusammengestellt, weil Herr B. bei diesen Märschen infolge schmerz-

von 26,9 bis 27,9 kg Gewicht. (P.)

Nach dem Marsch						Belastung	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit in pCt.	Bewölkung[2])
Weg	Gewicht	Pro Minute: Sauerstoffverbrauch ccm	Pro Minute: Kohlensäureausscheidung ccm	Resp.-Quot.	Sauerstoffverbrauch ccm	kg			
68.62	94.40	1136,7	879,7	0,77	175,5	26,0	8,6	90	10 (1)
73,74		1158,5	926,9	0,80	166,4				
70.71	95,60	1144.3	868,6	0,76	169,3	27.5	9,5	88	10 (1)
73.21		1163,5	886,4	0,76	166,2				
						27,5			
75.37	93,34	1141,4	915,6	0,80	162,2	27,5	13,1	63	4 (1)
76,85		1107,3	919,3	0,83	154,4				
73.05	94.10	1188.9	912,8	0,77	173.0	27,5	12,8	59	0 (1)
76.34		1147,3	913,4	0,80	159.7				
73.69	94,00	1257,2	954,6	0,76	180,5	27,5	13,2	60½	0
75.37		1246,9	958,2	0,77	176,0				
76.73	95.25	1338,3	1008,7	0,75	183,1	27,5	15,0	69	10 (1)
75.37		1310,8	1030,2	0,79	182,6				
74.09	**94.45**	**1195,0**	**931.2**	**0,78**	**170,73**[1])				
					40,45				

Anfang des Marsches um das 3,71fache, zu Ende des Marsches um das 4.20fache.
geklammerte Ziffer die Dicke der Wolken (1—4).

Tabelle P_5.

Horizontaler Gang mit Belastung von 27,0 bis 31,2 kg. (P.)

Marsch-Nummer und Datum	Vor dem Marsch				Nach dem Gewicht				Last	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit in pCt.	Bewölkung
	Weg	Gewicht	Resp. Quot.	Sauerstoff-verbrauch ccm	Weg	Gewicht	Resp. Quot.	Sauerstoff-verbrauch ccm				
5. Juni	74,81 74,97	99,37	0,87 0,86	155,8 150,8								
15 6. „	75,06 74,90	98,55	0,87 0,81	150.4 139.3	75,87 74,84	97,47	0,77 0,79	172.3 170.0	31,2	17,0	60	2 (1
12. „	73,27 73,68	99,19	0,80 0,79	154,2 154,1								
18 13. „	73,65 74,09	99,30	0,81 0,82	154,9 159,8	72,58 71,68	98,50	0,74	195,2	31.2	12,5	76	10 (2
19 16. „	74,09 74,09	96,02	0,86 0,86	156,5 155,7	73,98 72,00	94,85	0,81 0,81	169,6 169,6	27,0	14,7	69½	8 (1
23 26. „	73,65 73,56	101,06	0,86 0,88	154,04 160,48	75,31 74,88	99,45	0,84 0,85	168,1 164,6	31,2	13,4	54½	8 (1,
24 27. „	73,65 73,16	99,60	0,85 0,87	149,07 152,94	72,55 72,63	98,05	0,81 0,83	180,1 172,3	31,2	15,6	59½	8 (1,
25 28. „	75,15 74,09	98,93	0,83 0,85	180,60 168,35	75,05 74,09	97,00	0.77 0.80	187,2 182,6	31,2	18,5	51	2 (1
Mittel	**74,118**	**99,00**	**0,843**	**156,06** [1]	**73,79**	**97,55**	**0,802**	**175,6** [1]				
Ruhe-verbrauch pro kg u. m				**38,57**				**39,32**				

hafter Reizung eines Fusses mit erheblich grösserem Kraftaufwand als sonst marschirte.

Die Tabellen P. 6 und B. 6 endlich, welche erst später zu geben sind, enthalten eine zur Prüfung des Einflusses der Geschwindigkeit auf den Sauerstoffverbrauch gemachte Zusammenstellung von z. Th. schon in den anderen Tabellen benutzten Versuchen.

In der früher geübten Weise berechnen wir nun für die Mittelwerthe einer jeden der vorstehenden Tabellen den An-

[1]) Steigerung gegen den Ruhewerth vor dem Marsche aufs 4,04fache nach dem Marsche aufs 4,47fache.

theil des Sauerstoffverbrauchs in der Ruhe, welcher von dem gesammten Sauerstoffverbrauch pro kg und 1000 m abzuziehen ist, um den Verbrauch, welchen die Arbeit für sich erforderte, zu finden. Beispielsweise berechnet sich dieser Abzug für Tab. P. 3 vor dem Marsche durch Division des Ruhewerthes von P. = 283,02 ccm durch das Product aus Gewicht und Weg (91,04 × 75,875) und Multiplication mit 1000 zu 40,97 ccm. Nach Abzug dieser Zahl von dem ganzen Sauerstoffverbrauch pro kg und 1000 m = 149,77 ccm bleiben 108,80 ccm O als Verbrauch für die Fortbewegung von 1 kg um 1000 m Weges. Von dieser Zahl wären noch nach früheren Auseinandersetzungen 2,94 ccm für die auf der Tretbahn geübte Steigarbeit abzuziehen. Wir verzichten aber lieber auf diese Correctur, weil auch im Gelände kleine Steigungen vorkommen, die, wie früher auseinandergesetzt, denen auf der Tretbahn etwa gleichwerthig sein dürften. Indem wir die hier skizzirte Abrechnung des Ruheverbrauchs für alle Mittelwerthe der vorstehenden Tabellen ausführen, kommen wir zu folgenden Resultaten in Bezug auf die zur Fortbewegung von 1 kg um 1000 m nöthige Sauerstoffmenge:

				frisch:	ermüdet:
P_3 S. 247	circa	22	kg Belastung	108,80 ccm O_2	116,73 ccm O_2
P_4 S. 248	„	26—27,5	„ „	107,54 „ „	130,28 „ „
P_5 S. 250	„	27—31,2	„ „	117,49 „ „	136,28 „ „
P_7 S. 252	„	11—13	„ „	124,86 „ „	142,71 „ „
P_1 S. 239	„	0	„ „	108,68 „ „	— „ „

Die analogen Zahlen für Herrn B. lauten:

				frisch:	ermüdet:
B_3 S. 253	circa	22	kg Belastung	123,52 ccm O_2	138,60 ccm O_2
B_4 S. 254	„	26	„ „	115,28 „ „	120,74 „ „
B_5 S. 256	„	31	„ „	105,90 „ „	109,58 „ „
B_8 S. 254	„	31	„ „	132,83 „ „	146,30 „ „
B_7 S. 256	„	10—12	„ „	119,34 „ „	122,61 „ „
B_1 S. 242	„	0	„ „	111,14 „ „	— „ „

Wenn wir der geringen Steigung der Tretbahn von 1,89 auf 1000 Rechnung tragen wollen, haben wir alle obigen Zahlen um 2,9 bis 3,0 ccm zu vermindern.

Fast ausnahmslos ist der Sauerstoffverbrauch in den nach dem Marsch in ermüdetem Zustande ausgeführten Versuchen erhöht[1]). Diese Erhöhung ist in den verschiedenen

[1]) Eine auffallende Ausnahme von obiger Regel zeigt sich nach Marsch No. 6 bei B. Der Sauerstoffverbrauch betrug zu Anfang **163,1** ccm,

Tabelle P_7. Horizontaler Gang mit

Marschnummer	Datum	Vor dem Marsch					
		Weg pro Min.	Gewicht incl. Belastung	Sauerstoff-verbrauch pro Min. ccm	Kohlen-säureaus-scheidung pro Min. ccm	Resp.-Quotient	Sauerstoff-verbrauch pro kg und 1000 m ccm
3	5. Mai	74,19 76,62	82,00	1183,4 1157,0	942,0 927,0	0,80 0,80	194,5 184,2
4	8. „	76,15 76,25	80,35	1080,9 1073,2	842,1 880,7	0,78 0,82	176,7 175,2
6	11. „	77,18 76,38	82,65	1112,6 1068,7	905,8 913,6	0,81 0,86	174,4 169,2
7	18. „	74,92 80,04	82,40	901,1 1017,6	744,1 787,2	0,83 0,77	146,0 154,3
8	19. „	72,58 73,82	81,70	997,0 979,0	829,0 835,5	0,83 0,85	168,1 162,3
	Mittel . . .	**75,813**	**81,82**	**1057,1**	**860,7**	**0,815**	**170,49**

Versuchsreihen sehr verschieden gross, wie aus folgender, obigen Reihen entsprechender Uebersicht deutlicher wird. Die Steigerung pro kg und 1000 m beträgt:

Tab.	P_3	=	7,93 ccm	oder	7,3	pCt.
„	P_4	=	22,74 „	„	21,1	„
„	P_5	=	18,79 „	„	16,0	„
„	P_7	=	17,85 „	„	14,3	„
Tab.	B_3	=	15,08 ccm	oder	12,2	pCt.
„	B_4	=	5,46 „	„	4,7	„
„	B_5	=	3,68 „	„	3,5	„
„	B_8	=	13,47 „	„	10,1	„
„	B_7	=	3,27 „	„	2,7	„

Der Erhöhung des Sauerstoffverbrauchs im ermüdeten

am Schluss **145,7**. Dabei stimmen die Doppelanalysen so gut untereinander, dass an einen Fehler nicht wohl zu denken ist. Dieser Marsch, welcher nur 18 km betrug, war dadurch ausgezeichnet, dass es fast beständig regnete, bei angenehmer Temperatur von im Mittel 11,9° C. — Wir haben auch sonst öfter beobachtet, dass Regen eine auffallend erfrischende Wirkung auf die Marschirenden übte.

Belastung von 11—13 kg (P.).

Nach dem Marsch						Belastung auf dem Marsch
Weg pro Min.	Gewicht incl. Belastung	Sauerstoff-verbrauch pro Min. ccm	Kohlen-säureaus-scheidung pro Min. ccm	Resp.-Quotient	Sauerstoff-verbrauch pro kg und 1000 m ccm	
73.11	81.65	1111,0	794,8	0.71	186,1	20,76 kg
71.69		1117,2	805.2	0,72	190,9	erster Tag mit dieser Belastung
81.67	79.90	1395,1	1004,5	0.72	213,9	22,40 kg
77.87		1241,9	925,2	0,75	199,6	
						24.49 kg
77,51	81,55	1094,4	820.3	0,75	173.2	24,49 kg
74.62		1057.5	847,4	0,78	178,7	
74.75	81,25	1131,8	874,2	0,77	186,3	24.49 kg
73.70		1091.1	869,3	0.80	182,2	
75.616	**81.09**	**1155,0**	**867.6**	**0.751**	**188,87**	

Tabelle B_3.

Horizontaler Marsch mit 22 kg Belastung. (B.)

Marsch-Nummer und Datum.		Vor dem Marsch					Nach dem Marsch					Witterung während des Marsches.		
		Weg	Gewicht	Sauerstoff-verbrauch pro Min.	Sauerstoff-verbrauch pro kg und 1000m	Resp.-Quot.	Weg	Gewicht	Sauerstoff-verbrauch pro Min.	Sauerstoff-verbrauch pro kg und 1000m	Resp.-Quot.	Temperatur	Relative Feuchtigkeit	Bewölkung
6	3. Juli						74,40	86,10	1156.0	180.5	0,77	26.1	54pCt.	4
8	5. „	72.46	86,55	1057.9	168,7	0,86	74,73	84,70	1133,6	179,1	0.75	18.1	67 „	8
		74,50		1017.7	157,8	0,85	75,51		1117,4	174,7	0.79			
	Mittel	**73.48**	**86,55**	**1037.8**	**163,25**	**0,855**	**74.88**	**85,40**	**1135.7**	**178,1**	**0.77**			

Tabelle B_4. Horizontaler Marsch bei

Marsch-Nummer	Datum	Vor dem Marsch					
		Weg	Gewicht	Pro Minute: Sauerstoffverbrauch ccm	Pro Minute: Kohlensäureausscheidung ccm	Resp. Quot.	Sauerstoffverbrauch pro kg u. 1000 m ccm
9	22. Mai	71,71 74,09	89,79	955,9 967,3	829.1 796,9	0,87 0,82	148.5 145,4
10	23. „	69,69 76,85	91,22	981,9 1154,9	830.9 963,8	0,85 0,83	154,4 164.8
—	26. „	77,22 76,73	91,01	1076,4 1047,7	925,3 875,6	0,86 0,84	153.2 150.0
13	30. „	75,41 76,73	91,10	984,3 1008,1	915,3 916,8	0,93 0,91	143.3 144.2
14	2. Juni	76,85 75,98	90,01	1065,5 1040,1	909,3 916,9	0,85 0,88	154.0 152.1
19	16. „	74,09 74,91	89,25	1082,9 1046,7	918,1 904,4	0,85 0,86	163.8 156.6
Mittel		**75,021**	**90,396**	**1034,3**	**891,86**	**0.86**	**152,53**
Ruheverbrauch pro kg und 1000 m . .							**37.245**

Tabelle B_8.

Horizontaler Marsch mit schwerer Belastung. (B.)

Marsch-Nummer und Datum.	Vor dem Marsch					Nach dem Marsch					Witterung während des Marsches		
	Weg	Gewicht	Sauerstoff: pro Min.	Sauerstoff: pro kg und 1000m	Resp.-Quot.	Weg	Gewicht	Sauerstoff: pro Min.	Sauerstoff: pro kg und 1000m	Resp.-Quot.	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit pCt.	Bewölkung
23 26. Juni	73,88 73,48	95,20	1200.3 1149,2	170,6 164,3	0,820	75,19	93,70	1240.9	177.4	0.790	13.4	54½	8 (1)
25 28. „	74,75 74,50	95,14	1277,1 1129,3	179,6 159,3	0,840	74,53	93,50	1304,9	187.3	0.760	18.5	51	2 (1
Mittel	**74,52**	**95.17**	**1189,0**	**168,45**	**0.830**	**74,86**	**93,60**	**1272,9**	**182.35**	**0,775**			

Belastung von 26—27 kg. (B.)

Nach dem Marsch						Temperatur	Bewölkung	Rel. Feuchtigkeit
Weg	Gewicht	Pro Minute: Sauerstoffverbrauch ccm	Pro Minute: Kohlensäureausscheidung ccm	Resp. Quot.	Sauerstoffverbrauch pro kg und 1000 m ccm			
68,09	89,00	988,9	782,3	0,79	163,2	8,6	10 (1)	90,0 pCt.
76,89		1101,6	867,1	0,79	161,0			
70,42	90,02	973,9	787,6	0,81	153,6	9,5	10 (1)	88,0 „
74,39		1039,5	796,6	0,77	155,2			
						—	—	—
74,27	90,12	1038,5	767,7	0,74	155,1	13,2	0 (0)	60,5 pCt.
72,43		1042,5	780,0	0,75	159,7			
76,85	89,72	1116,0	845,5	0,76	161,9	15,0	10 (1)	69,0 „
75,98		1039,2	836,8	0,81	152,5			
74,20	88,47	1148,4	898,9	0,78	174,9	14,7	8 (1)	69,5 „
72,09		982,7	830,2	0,84	154,1			
73,561	89,466	1047,1	819,27	0,784	159,12			
					38,38			

Zustande entspricht nun nicht eine gleich grosse Steigerung des Verbrauchs an chemischer Spannkraft; regelmässig ist in den Respirationsversuchen am Schluss der Märsche der respiratorische Quotient um 4—6 Einheiten herabgesetzt. Das bedeutet, dass an Stelle der durch die Arbeit mehr oder weniger stark aufgebrauchten Kohlenhydrate reichlicher Fett zur Bestreitung der Arbeit herangezogen wird. Mit diesem Ueberwiegen des Fettes sinkt aber der Wärmewerth des Sauerstoffs (vgl. S. 173). Vielfach lässt sich nachweisen, dass der durch den Marsch herabgeminderte Kohlenhydratbestand des Körpers bis zum anderen Tage nicht ersetzt ist. Wo 2 oder 3 Märsche hintereinander stattfanden, zeigen die späteren meist niedrigere respiratorische Quotienten zu Beginn und noch stärkeres Absinken derselben am Schluss des Marsches. In dem Maasse der Erniedrigung des Quotienten am Schlusse des Marsches einerseits, am anderen Morgen

Tabelle B_5. Horizontaler Marsch

Marschnummer	Datum	Vor dem Marsch					
		Weg	Gewicht	Sauerstoff pro Minute ccm	Kohlensäure pro Minute ccm	Resp. Quotient	Sauerstoff pro km u. 1000 m ccm
16	8. Juni						
17	9. „	74,35 73,61	94.25	901,7 958,2	772,1 828,1	0.860	128.7 138.1
	12. „	74,75 74,09	93,85	1039,5 1004,1	803.0 784,4	0.775	148.2 144.4
18	13. „ [1]	73,60 73,71	93,40	1006,3 1017,6	772,8 775,9	0.765	146.4 147.8
Mittel		**74,01**	**93.83**	**987,9**	**789,4**	**0,800**	**142.27**
Antheil des Ruheverbrauchs							**36.37**

Tabelle B_7. Horizontaler Marsch mit minimalem

Marsch-Nummer	Datum	Vor dem Marsch					
		Weg	Gewicht	pro Minute: Sauerstoffverbrauch ccm	pro Minute: Kohlensäureausscheidung ccm	Resp. Quot.	Sauerstoff pro kg u. 1000 m ccm
4	8. Mai						
5	9. „	77,95 78,73	74,75	927,3 945,5	810,1 835,6	0,875	159.1 160.7
6	11. „	77.00 76,35	76,25	953,6 953.4	825,6 817,7	0,865	162,4 163.8
8	19. „	73,09 73,74	76,05	945,2 914,2	751,9 772,6	0.825	170.0 163.0
Mittel		**76,143**	**75,683**	**939,9**	**802,3**	**0,855**	**163.17**
Ruheverbrauch f. 1 kg u. 1000 m . . .							43.83

[1] Beim Schlussversuch Fussschmerzen.

mit schwerer Belastung. (B.)

Nach dem Marsch						Temperatur	Rel. Feuchtigkeit in pCt.	Bewölkung
Weg	Gewicht	Sauerstoff pro km ccm	Kohlensäure pro Minute ccm	Resp. Quotient	Sauerstoff pro km ccm			
74,09 74,54	93,30	945,2 937,5	767,3 780,1	0,820	136,7 134,8	12,4	90½	10,1
78,11 75,25	93,80	1101,0 1033,0	807,7 766,6	0,735	150,3 146,3	12,7	82½	8,1
72,92	92,70	1084,4	773,9	0,710	160,4	12,5	76	10,2
74,98	**93,27**	**1020,2**	**779,1**	**0,76**	**145,70**			
					36,12			

Gepäck (10—12 kg), draussen höhere Belastung. (B.)

Nach dem Marsch						Temperatur	Rel. Feuchtigkeit	Bewölkung	Belastung auf dem Marsch draussen
Weg	Gewicht	pro Minute: Sauerstoffverbrauch ccm	pro Minute: Kohlensäureausscheidung ccm	Resp. Quot.	Sauerstoff pro kg u. 1000 m ccm		pCt.		kg
81,52 75,41	75,35	1153,0 1033,0	880,9 836,4	0,785	187,7 181,8	11,5	72½	0	22,4
						15,1	54½	0	24,5
74,47 76,17	76,25	831,6 841,8	676,3 696,8	0,820	146,5 145,0	11,9	95½	10,1	24,5
73,47 70,98	75,40	951,5 902,8	698,0 669,8	0,735	171,8 168,7	11,6	69	3,1	24,5
75,337	**75,667**	**952,3**	**743,0**	**0,780**	**166,92**				
					44,31				

andererseits werden wir einen Ausdruck für die durch den Marsch bewirkte Erschöpfung des Körpers an leicht verfügbaren Nährstoffen und für die Unvollkommenheit ihres Ersatzes bis zum anderen Tage haben. Die folgende Tabelle giebt einen Ueberblick dieser Verhältnisse.

Tabelle 23.

Einwirkung wiederholter Märsche auf den Resp.-Quotienten.

Marsch-Nummer	Datum	RQ bei P.		RQ bei B.	
		vor dem Marsche	nach dem Marsche	vor dem Marsche	nach dem Marsche
4	8. Mai	80	73,5	—	—
5	9. „	75,5	73	—	—
7	18. „	80	76,5	—	—
8	19. „	84	78,5	—	—
9	22. „	85,2	78,5	86,2	79
10	23. „	85,0	76	84	79
11	28. „	—	81,5	—	—
12	29. „	86	78,5	—	—
13	30. „	83,5	76,5	—	—
16	8. Juni	—	—	—	82
17	9. „	—	—	86	73,5
20	19. „	85	80,5	85	78
21	20. „	82,5	77,5	84,5	74
22	21. „	84	78	83,5	71
23	26. „	87	84,5	—	—
24	27. „	86	82	—	—
25	28. „	84	78,5	—	—
26	3. Juli	—	80,5	—	—
27	4. „	85,5	78,5	—	—
28	5. „	83,5	76,5	—	—

Mit Ausnahme von Marsch 8 und 21 weisen sämmtliche Zahlen darauf hin, dass bei Antritt des zweiten bezw. dritten Marsches der Kohlenhydratvorrath des Körpers geringer war, als bei Beginn des ersten, dass also bei mehreren aufeinander folgenden, anstrengenden Märschen der Ernährungszustand des Körpers allmählich zurückgeht, so dass er zu

seiner Wiederherstellung der Einschaltung eines Ruhetages nach höchstens 3 Marschtagen bedarf.

Wenn dies schon bei unseren Versuchen hervortritt, wo die Marschirenden Mittags in ihr gewohntes Heim zurückkehrten in immerhin behagliche Verhältnisse, so wird die Schädigung sicher eine erheblichere sein bei der weniger vollkommenen Ruhe und den schwierigeren Ernährungsverhältnissen des Manövers oder gar des Krieges.

Die vorher betonte Steigerung des Sauerstoffverbrauchs am Schluss der Märsche, wie auch die Unterschiede im Sauerstoffverbrauch bei wechselnder Belastung, welche in den obigen Tabellen zu Tage treten, können nur richtig gewürdigt werden, wenn wir dem wechselnden calorischen Werthe des Sauerstoffs in den einzelnen Versuchen Rechnung tragen — mit anderen Worten, wenn wir aus dem Sauerstoffverbrauch und den respiratorischen Quotienten den Energieaufwand für die Bewegung der Einheit des Körpergewichts um 1000 m berechnen. — Wir wenden uns jetzt dieser Aufgabe zu.

c) Der calorische Werth der Marscharbeit.

1. Abhängigkeit von der Belastung und von der Ermüdung.

Wenn wir es nur mit Fett und Kohlenhydraten als Kraftquellen des Muskels zu thun hätten, würde die Berechnung sehr einfach sein. Wir wissen, dass sich Fette und Kohlenhydrate sehr erheblich durch den bei ihrer Verbrennung auftretenden respiratorischen Quotienten unterscheiden. Bei der Fettverbrennung ist er = 0,707, bei der Verbrennung von Kohlenhydraten = 1,000. Da sich die verschiedenen Fette mit Ausnahme der Butter nur sehr wenig in ihrer Verbrennungswärme von einander unterscheiden und da auch die zu ihrer Verbrennung nöthige Sauerstoffmenge nahezu die gleiche ist, können wir den Mittelwerth aus den von Stohmann und Langbein gefundenen Verbrennungswärmen benutzen. Bei den Kohlenhydraten weichen zwar die wichtigsten Repräsentanten der Gruppe in ihrer Verbrennungswärme erheblich von einander ab, aber diese Unterschiede entsprechen fast genau den Unterschieden im Sauerstoffverbrauch, so dass die Volumeinheit des zur Verbrennung von Kohlenhydraten dienenden Sauerstoffs fast dieselbe Wärmemenge repräsentirt, ob nun

dieser Sauerstoff zur Verbrennung von Traubenzucker oder von Stärke dient. Wir können unsere Berechnung der Verbrennungswärme auf folgende Daten stützen[1]):

1 l Sauerstoff liefert bei der Verbrennung von

Stärke	5,047 Calorien.	RQ 1.000.
Fett	4,686 „	„ 0,707.
Differenzen	0,361 Calorien,	RQ 0.293.

Da nun, wenn Gemische von Kohlenhydrat und Fett zur Verbrennung kommen, gleichzeitig der respiratorische Quotient und die auf 1 ccm O_2 entfallende Verbrennungswärme dem wachsenden Antheil, den das Kohlenhydrat am Umsatz hat, proportional wachsen müssen, können wir sagen, dass für je 0,001, um welche der respiratorische Quotient die Zahl 0,707 übersteigt, die Wärmemenge, welche dem Verbrauch von 1 l O entspricht, um $\frac{0{,}361}{293} = 0{,}00123$ Calorien wächst. An der Hand dieser Ueberlegung haben wir eine Tabelle eingerichtet, welche uns für jeden Werth des respiratorischen Quotienten den zugehörigen calorischen Werth des Sauerstoffs und den Logarithmus dieses Werthes angiebt. Da diese Tabelle auch Anderen bei Berechnung von Respirationsversuchen gute Dienste leisten kann, haben wir sie im Anhang unter den analytischen Belägen sub No. VII abgedruckt. Complicirter gestaltet sich die Berechnung, wenn man auch den Antheil des Eiweisses am Umsatz der thätigen Muskeln in Rechnung zieht, ein Antheil, der freilich seiner Grösse und Natur nach nicht genau bestimmt werden kann und deshalb immer ein Moment der Unsicherheit in die Rechnung bringt. Glücklicher Weise ist der absolute Werth dieser Unsicherheit nicht allzu gross, so dass, wie wir noch näher ausführen wollen, die Fehler, welche durch etwaige unrichtige Schätzung des Antheils des Eiweisses am Umsatz des thätigen Muskels entstehen, die sonstigen Fehlergrenzen derartiger Messungen kaum übersteigen[2]). Verhältnissmässig

---

[1]) Vergl. N. Zuntz, Ueber den Stoffverbrauch des Hundes bei Muskelarbeit. Pflüger's Archiv. 68. S. 201 ff.

[2]) Als wir Obenstehendes schrieben, waren die neuesten so interessanten Ausführungen Pflüger's über die beim Umsatz des Eiweisses in Frage kommenden Wärmemengen noch nicht erschienen. Der Nachweis, dass die veränderte Schätzung des calorischen Werthes des Eiweisses, zu welcher Pflüger's Betrachtungen führen, das Ergebniss unserer

leicht ist es, den Antheil des Eiweisses am Stoffwechsel in der Ruhe zu berechnen.

Hier darf man wohl annehmen, dass der Umsatz gleichmässig abläuft. Wir brauchen daher nur aus den S. 157 f. f. besprochenen Bilanzversuchen die Grösse des 24stündigen Eiweissumsatzes zu entnehmen und in Rechnung zu stellen. Wir dürfen dies um so eher für die ganze Versuchsreihe thun, als bei beiden Herren vor Beginn der Bilanzversuche, bei gewohnter frei gewählter Kost, die 24stündige Stickstoff-Ausscheidung in ihrem Harne während einiger Tage festgestellt wurde, um danach den N-Gehalt der Nahrung im eigentlichen Bilanzversuche zu regeln. Aus den Daten des Bilanzversuches selbst entnehmen wir, dass die Herren B. und P. an den Tagen, an welchen ihr Umsatz nicht durch die Märsche alterirt war, folgende Stickstoffmengen ausschieden:

	B.	P.
23. Juni	10,82	—
24. „	9,33	12,35
25. „	9,79	12,43
1. Juli	9,70	12,85
2. „	11,90	13,41
Mittel	10,31 g	12,76 g

Das macht durch 1440 dividirt pro Minute . 7,16 mg bezw. 8,86 mg.

Nun kommen, wie Zuntz am angegebenen Orte S. 202 f. ausgeführt hat, bei der Umsetzung des Fleisches und ihm ähnlich zusammengesetzter Eiweisskörper auf 1 mg N im Harne folgende Werthe des Gaswechsels bezw. der Energieentwickelung:

6,064 ccm O-Aufnahme, 4,809 ccm CO_2-Ausscheidung, 27,14 calorien. Es entfallen daher auf den Eiweisszerfall der beiden Herren pro Minute:

B. 43,42 ccm O, 34,43 ccm CO_2, 194,3 calorien.
P. 53,73 „ „ 42,61 „ „ 240,5 „ .

Der ganze Gaswechsel in der Ruhe beträgt laut Tabelle 6 S. 218 bei B.

252,59 ccm O bei RQ 0,836, also 211,17 ccm CO_2.

---

calorimetrischen Rechnungen nur sehr wenig beeinflussen, ist inzwischen von Zuntz (Ueber die Bedeutung der verschiedenen Nährstoffe als Erzeuger der Muskelkraft. Pflüger's Archiv. 83. S. 557) geführt worden.

Nach Abzug des vorstehenden Antheils des Eiweisses bleiben für Fett und Kohlenhydrate:

209,17 ccm O, 176,74 ccm CO_2, entsprechend einem respiratorischen Quotienten von $\frac{176,74}{209,17} = 0,845$, welchem nach obigem ein calorischer Werth von 4,856 entspricht, so dass B. in der Ruhe 209,17 × 4,856 = 1015,9 cal. aus stickstofffreien Stoffen und wie oben berechnet 194,3 „ „ Eiweiss, im Ganzen also . . . . . 1210,2 calorien pro Minute producirt.

Die entsprechende Rechnung für P. lautet wie folgt: Gaswechsel in der Ruhe im Mittel von 20 Versuchen laut Tabelle 5 S. 217:

283,02 ccm O bei RQ = 0,809 = 228,96 ccm CO_2

Hiervon entfallen auf Eiweiss . 53,73 „ „ . . . . . 42,61 „ „ 240,5 cal.

Rest: 229,29 ccm O bei RQ = 0,813 = 186,35 ccm CO_2

Beim respiratorischen Quotienten 0,813 liefert die Verbrennung von Fett und Kohlenhydraten 4,817 calorien für jeden ccm O. Die 229,20 ccm O entsprechen daher . . . . . 1104,5 cal.

P. producirt daher im Ganzen pro Minute . . . . . 1345,0 cal. in der Ruhe[1]).

Den Energieaufwand, welchen die Marschleistungen erfordern, wollen wir nun zunächst für die Märsche, welche während des Bilanzversuches stattfanden, berechnen, weil für diese der 24stündige Eiweissumsatz genau bekannt ist.

Herr B. führte während des Bilanzversuchs zwei Märsche mit schwerem Gepäck aus. (s Tab. B_8 S. 254.)

Da die Arbeit den Eiweissumsatz erhöhte und diese Erhöhung in einer noch zwei Tage lang nach dem Marsche andauernden vermehrten Stickstoffausscheidung durch den Harn sich kundgab, können wir nicht wissen, in welchem Maasse dieser vermehrte Eiweisszerfall zur Bestreitung der eigentlichen Marscharbeit beitrug. Es wäre nicht undenkbar, dass

[1]) Der hier berechnete Energiewerth ist niedriger als der im Bilanzversuch (Kapitel IV a) berechnete, weil wir hier, wo es uns auf den Verbrauch während der Marschstunden ankommt, die Steigerung des Verbrauchs nach den Hauptmahlzeiten (Mittags und Abends) nicht in Rechnung gestellt haben.

durch die grosse Arbeit eine Schädigung der vitalen Integrität gewisser Eiweissmoleküle bewirkt und so deren Zerfall vorbereitet würde, ohne dass doch dieser Zerfall sich schon während der Arbeit vollendete, ohne dass also die dem totalen Zerfall entsprechende Aufnahme von O_2 und Abgabe von CO_2 stattgefunden und ohne dass diese Moleküle ihren vollen Energiewerth im Moment der Arbeit dem Muskel gewährt hätten. Es ist auch denkbar, dass bei der Arbeit die Eiweissmoleküle zwar zerfallen wären, dass aber die resultirenden NH_3-Moleküle durch die im thätigen Muskel freiwerdenden sauren Affinitäten zunächst festgehalten würden und erst allmälig zur Harnstoffbildung und Elimination frei würden. Die Kraftmenge, welche das Eiweiss bei der Muskelthätigkeit liefert, könnte daher in minimo nur ebenso gross sein, wie die, mit welcher es sich am Ruhestoffwechsel betheiligt, in maximo aber könnte die ganze als Folge der Arbeit innerhalb der nächsten Tage frei werdende Stickstoffmenge dem während der Arbeit selbst und im Dienste derselben zerfallenden und Kraft liefernden Eiweiss entstammen. Dieses letztere Extrem berechnen wir aus folgenden Zahlen. Die Märsche fanden statt am 26. und 28. Juni.

Die Stickstoffausscheidung im Harn betrug am

26. Juni . . .	10,25 g N
27. „ . . .	12,22 „ „
28. „ . . .	12,09 „ „
29. „ . . .	12,22 „ „
30. „ . . .	12,61 „ „
In 5 Tagen	59,39 g N
Dagegen in 5 Ruhetagen	51,54 „ „
Mehr für 2 Arbeitstage .	7,85 g N = 3,925 g N pro Tag.

Die ganze Marschzeit (draussen und auf dem Tretwerk) betrug an diesen Tagen (B. kürzte am 26. Juni wegen Sehnenscheidenentzündung an einem Fusse den Marsch ab) 584 Minuten unter Zurücklegung von 50134 m, d. h. 85,84 m pro Minute. Vertheilen wir die an die Märsche sich anschliessende Mehrzersetzung von 7,85 g N auf diese 584 Minuten, so ergiebt

das pro Minute	13,44 mg N.
Hierzu der oben berechnete Ruheumsatz .	7,16 „ „
Stickstoffumsatz pro Minute	20,60 mg N.

Nach dem vorher Gesagten entsprechen dieser Stickstoff-

menge 124,9 ccm O_2, 99,1 ccm CO_2 und eine Wärmeentwickelung von 559,1 calorien pro Minute. Der gesammte Gaswechsel einer Minute beträgt nach Tabelle B_8[1])

vor dem Marsch: nach dem Marsch:

1189,0 ccm O, 984,2 ccm CO_2; 1272,9 ccm O, 987,1 ccm CO_2.

Es bleiben also für Fett und Kohlenhydrate

vor dem Marsch: 1064,1 ccm O, 885,1 ccm CO_2, RQ. 0,832,
nach d. Marsch: 1148,0 „ „ 888,0 „ „ „ 0,774.

Diesen Werthen entsprechen

	calorien		calorien
$1064{,}1 \times 4{,}840 =$	5151,0 bezw.	$1148{,}0 \times 4{,}769 =$	5474,8
Hierzu obige	559,1		559,1
Energie pro Min.	5710,1 vor- bezw.	nachher	6033,9

Hiervon ist beiderseits der Ruhestoffwechsel mit 1210,2 calorien pro Minute abzuziehen. Es bleiben dann vor bezw. nach dem Marsche für Bewegung von

95,17 kg um 74,52 m: 4499,9 calorien,
93,60 kg „ 74,86 m: 4823,7 „

Das macht für 1 kg und 1000 m Weg: 634,5 calorien bezw. 692,2 calorien.

Unter der Annahme, dass bei Arbeit nicht mehr Eiweiss als in der Ruhe, d. h. 7,16 mg pro Minute zerfallen, beträgt der Antheil des Eiweisses am Gaswechsel jeder Minute

43,4 ccm O, 34,4 ccm CO_2 — 194,3 calorien

Es bleiben dann für Fett und Kohlenhydrate

vor dem Marsch: 1145,6 ccm O, 949,8 ccm CO_2, 0,829 RQ,
nach d. Marsch: 1229,5 „ „ 953,0 „ „ 0,775 „

Diesen Zahlen entsprechen

	5541.4 calorien bezw.	5865.6	calorien.
Hierzu Antheil des Eiweisses	194,3 „ „	194,3	„
Für eine Minute	5735,7 calorien bezw.	6059.9	calorien.
Hiervon ab Ruhewerth . . .	1210.2 „ „	1210.2	„
Für die Minutenarbeit . . .	4525,5 calorien bezw.	4849.7	calorien.

[1]) Die Zahlen für die Kohlensäureausscheidung sind der grösseren Genauigkeit halber hier und in den folgenden Rechnungen durch Mittelung der in den Generaltabellen aufgeführten analytischen Ergebnisse gewonnen. Sie weichen daher in der letzten Stelle von den Zahlen ab, welche sich durch Multiplication der auf 2 Stellen gekürzten respiratorischen Quotienten mit dem Sauerstoffverbrauch ergeben.

Das macht, wie vorher auf 1 kg und 1000 m Weg berechnet, 638,1 calorien bezw. 695,9 calorien.

Diese Werthe unterscheiden sich von den vorher unter der Annahme maximaler Eiweisszersetzung berechneten nur um etwa $^1/_2$ pCt., d. h. um einen ganz in den Fehlergrenzen der Messungen liegenden Werth. Wir wollen das Mittel beider Zahlen als den wahrscheinlichsten Werth acceptiren, also:

In Beginn des Marsches:	636,3 calorien,
am Schlusse:	694,0 „

Diese Zahlen sind noch ein wenig zu hoch, weil die Tretbahn, wie schon früher erwähnt, nicht ganz horizontal stand. Die Steigung betrug 1,8909 m auf 1000 m Weg. Wir berechnen hierfür nach S. 243 einen Sauerstoffverbrauch von $1{,}8909 \times 1{,}545 = 2{,}92$ ccm für den ausgeruhten, von 2,98 ccm für den ermüdeten Herrn B. Da in den Respirationsversuchen vor dem Marsche 1189 ccm O im Mittel beider Rechnungsweisen 5722,9 calorien lieferten, entsprechen den 2,89 ccm O 13,9 calorien. Am Schlusse des Marsches entsprechen 1272,9 ccm O — 6046,9 calorien, also 2,98 ccm O — 14,2 calorien. Es bleiben demnach für die reine Horizontalbewegung von 1 kg um 1000 m bei einer Totalbelastung von 31 kg

im frischen Zustande . .	622,4 calorien
im ermüdeten Zustande .	679,8 calorien

Die Ermüdung hat also in diesem Falle, wo sich zu der schweren Belastung noch eine schmerzhafte Reizung der Sehnenscheiden an einem Fuss gesellte, den Verbrauch gegen den Anfang des Marsches um 57,4 calorien = 9,2 pCt. gesteigert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch der Anfangswerth schon durch die Schmerzhaftigkeit erheblich gesteigert war. Wir haben im Mittel der 3 Märsche vom 9., 12. und 13. Juni einen Anfangswerth des Sauerstoffverbrauchs von 142,27 ccm, während er hier 168,45 ccm beträgt, also schon um 18,4 pCt. erhöht ist.

Den Energieaufwand für den ganzen Marsch können wir aus vorstehenden Daten leicht berechnen. Für 1 kg und 1000 m haben wir im Mittel der Anfangs- und Endmessungen 651,1 calorien. Da aber im Gelände kleine Hebungen und Senkungen vorkommen, welche der Neigung auf der Tretbahn (1,89 m pro km) gleichkommen dürften, nehmen wir

für diese Berechnung das für die Steigarbeit nicht corrigirte Mittel: 665,1 calorien pro kg und 1000 m.

Am 26. 6. war das Mittel des Anfang- und Endgewichts 94,45 kg; diese Wägungen wurden mit dem 1,2 kg wiegenden Respirationsapparate, welcher nur auf dem Tretwerke, also etwa $^1/_{10}$ des ganzen Marsches getragen wurde, gemacht, es sind also für die durchschnittliche Schwere des Mannes $^9/_{10} \times 1{,}2 = 1{,}08$ kg abzuziehen. Die gesammte Marschleistung entsprach also der Fortbewegung von 93,37 kg über 23217 m, erforderte also $93{,}37 \times 23{,}217 \times 665{,}1$ cal. gleich 1442 Calorien.

Am 28. 6. war das mittlere Gewicht mit dem Respirationsapparat = 94,32 kg, im Durchschnitt des ganzen Marsches also 93,24 kg; der ganze Weg betrug 26,917 m, der Energieaufwand demnach: $26{,}917 \times 93{,}24 \times 665{,}1$ cal. = 1669 Calorien.

Diese Zahlen bedürfen noch einer Correctur wegen der draussen grösseren Marschgeschwindigkeit gegenüber dem Gange auf dem Tretwerk. Wie später genauer darzulegen, bedingt jedes Meter Zunahme der Minutengeschwindigkeit einen Mehrverbrauch von 2,4 calorien pro kg und 1000 m. B. machte laut Tabelle B_8 auf dem Tretwerk, im Mittel der Märsche 23 und 25, 74,7 m pro Minute. Draussen dagegen bei Marsch 23 = 91,7 m, bei Marsch 25 = 83,6 m. Die Correctur beträgt daher

bei Marsch **23**: $17 \times 2{,}4 \times 20{,}9 \times 93{,}37$ cal. = 80 Calorien
„ „ **25**: $8{,}9 \times 2{,}4 \times 24{,}75 \times 93{,}24$ „ = 49 „

Demnach ist der ganze Kraftaufwand

für Marsch 23: 1442 + 80 = 1522 Calorien,
„ „ 25: 1669 + 49 = 1718 „ .

(Es sei hier bemerkt, dass bei der Berechnung dieser beiden Versuche für die Untersuchung des Herrn Dr. Nehring „über die Wärmeregulirung auf dem Marsche“ statt des Mittels dieser 2 Tage, das erheblich niedrigere Mittel aller Versuche mit schwerem Gepäck benutzt und daher die Wärmeproduction zu niedrig gefunden wurde: andererseits ist damals bei Berechnung von Marsch 23 übersehen worden, dass Herr B. nur bis Haselhorst mitmarschirte, so dass er an diesem Tage nicht 27039 m, wie dort angegeben, sondern nur 23217 m marschirt ist.)

Während der zweiten Hälfte des Bilanzversuches fanden die Märsche 26 bis 28 statt, an deren mittlerem Herr B., um die Vergleichbarkeit mit der ersten Hälfte des Bilanzversuchs vollkommen zu gestalten, sich nicht betheiligte. Vor Marsch 26 fielen die Respirationsversuche aus, weil die enorme Hitze dieses Tages ein möglichst frühes Ausrücken nöthig machte, damit der Marsch nicht allzusehr an Vergleichbarkeit mit den anderen einbüsse. So haben wir nur das Mittel der in Tabelle B_3 zusammengestellten zwei Respirationsversuche vor und 3 nach dem Marsche zu verwerthen. Für den Eiweissumsatz benutzten wir dieselben Daten, welche wir zur Berechnung der schweren Märsche angewandt hatten, da diesmal in Folge eines Harnverlustes am 6. Juli die Nachwirkung der Arbeit auf den Eiweissverbrauch nicht festgestellt werden konnte. Eine hierdurch bedingte etwaige Ungenauigkeit ist ja, wie wir früher gesehen haben, fast ohne Bedeutung. Da aus den vorhandenen Daten über den Harnstickstoff zu erkennen ist, dass die Wirkung dieser zwei Märsche auf den Eiweisszerfall eine grössere, als die der ersten war, nehmen wir die dort benutzten höchsten Werthe des Antheils des Eiweiss am Minutenstoffwechsel und sind sicher, so einen mittleren Werth in die Rechnung einzustellen. Wir haben also als Gaswechsel einer Minute:

Vor dem Marsch:

	1037,8 ccm O.	888,5 ccm CO_2,
Ab für Eiweiss	124.9 „ O,	99,1 „ CO_2.
Antheil von Fett und Stärke	912,9 ccm O,	789,4 ccm CO_2,
	RQ = 0,876.	

Nach dem Marsch:

	1135,7 ccm O,	877,6 ccm CO_2,
Ab für Eiweiss	124,9 „ O,	99,1 „ CO_2.
Antheil von Fett und Stärke	1010,8 ccm O,	778,5 ccm CO_2.
	RQ = 0,770.	

Hieraus berechnet sich die Energieentwickelung aus den stickstofffreien Substanzen

	4468,7 calorien bezw.	4815.8 cal.
Hierzu aus Eiweiss . . .	559,1 „ „	559,1 „
Totale Energie einer Minute	5027,8 calorien „	5374.9 cal.
Hiervon ab Ruhewerth . .	1210,2 „ „	1210.2 „
Für 73,48 m Weg 86,55 kg	3817.7 cal. bezw. für 74,88 m Weg 85,4 kg:	4164,7 cal.

Das macht pro kg und 1000 m Weg

	600,3	calorien	bezw.	651,3	cal.
Hiervon ab für die Steigung.	13,9	„	„	14,2	„
Die reine Horizontalbewegung braucht anfangs	586,4	cal.,	am Schlusse	637,1	cal.

Auch hier ist die Steigerung des Verbrauchs durch die Ermüdung trotz des leichten Gepäcks eine erhebliche, sie beträgt 50,7 calorien = 8,6 pCt. des Anfangswerthes. Die starke Hitze ist hier wohl als Ursache dieser Steigerung anzusehen. Immerhin ist der Verbrauch geringer, auch zu Anfang als in der vorigen Reihe, was nicht ganz auf Rechnung der geringen Belastung zu setzen, vielmehr im Wesentlichen aus der wieder normaleren Beschaffenheit der Füsse von B. zu erklären ist.

Im Mittel des Anfangs- und Endwerthes beträgt der Energieverbrauch ohne Korrektur für die Steigung pro kg und 1000 m = 625,8 calorien. Wir haben nun bei Marsch 26 einen Gesammtweg von 26248 m bei einem für den Respirationsapparat korrigirten Gewicht von 85,37 kg, bei Marsch 28 einen Weg von 28253 m bei 85,05 kg. Hieraus ergiebt sich die Anforderung der gesammten Arbeit:

In Marsch 26 am 3. Juli zu 1402 Calorien.
„ „ 28 „ 5. „ „ 1504 „

Auch hier ist die Marschgeschwindigkeit draussen grösser als auf dem Tretwerk; bei Marsch 26 = 95,2 m, bei Marsch 28 = 86,8 m gegen 74,2 m im Mittel der Respirationsversuche von Tabelle B_3. Hieraus berechnen sich folgende Korrekturen:

Marsch 26: $21 \times 2{,}4 \times 24{,}75 \times 85{,}37$ cal. = 106 Calorien.
„ 28: $12{,}6 \times 2{,}4 \times 24{,}75 \times 85{,}05$ „ = 64 „

Der ganze Energieverbrauch auf den Märschen ist daher:

Marsch 26: 1402 + 106 = 1508 Calorien.
„ 28: 1504 + 64 = 1568 „

Wir wenden uns nun zur Berechnung des Kraftverbrauches bei P. auf den während des Bilanzversuches ausgeführten Märschen. Tabelle P_5 giebt das Mittel aller bei schwerem Gepäck ausgeführten Respirationsversuche: 16 bei Beginn, 11 am Schluss der Märsche, darunter je 6 während des Bilanzversuches. Im Mittel dieser letzteren beträgt der Sauerstoffverbrauch pro kg und 1000 m:

Bei Beginn 160,9 ccm; am Schluss 175,8 ccm
gegen 156,1 „ „ „ 175,6 „ im Mittel aller Versuche.

Die geringe Abweichung ist allein durch den starken Anfangsverbrauch am 28. Juni bedingt, welcher wohl der Ausdruck der unvollkommenen Erholung nach den schweren Märschen der zwei vorhergehenden Tage ist. Wir halten es deshalb für richtiger, das Mittel aller Versuche unserer Rechnung zu Grunde zu legen.

Zur Berechnung der Steigerung des Eiweissumsatzes durch die Arbeit haben wir für die beiden je dreitägigen Marschperioden folgende, dem Bilanzversuch entnommene Daten der 24 stündigen Stickstoffausscheidung:

		schweres Gepäck		leichtes Gepäck
erster Marschtag	26. Juni	13,45 g N,	3. Juli	14,48 g N.
zweiter „	27. „	15.37 g N,	4. „	16,92 g N.
dritter „	28. „	15.58 g N,	5. „	16.26 g N,
erster Nachtag	29. „	15,69 g N,	6. „	16,56 g N.
zweiter „	30. „	13.72 g N.	7. „	14,49 g N.
im Schweiss der 3 Marschtage		2,16 g N,		2,21 g N,
in 5 Tagen		75,97 g N,		81,12 g N,
in 5 Ruhetagen (vergl. S. 261)		63,80 g N,		63,80 g N,
Steigerung durch die Märsche		12,17 g N,		17,32 g N.

Es betrug nun bei den ersten drei Märschen der ganze draussen und auf dem Tretwerk zurückgelegte Weg 80,573 m. Das Gewicht von P. im Mittel 97,875 kg. Demnach beträgt die Steigerung des Eiweissumsatzes pro kg und 1000 m Weg

$$\frac{12170}{80{,}573 \times 97{,}875} = 1{,}543 \text{ mg N.}$$

Der Ruhewerth des Eiweissumsatzes beträgt pro Minute

$$\frac{12700}{1440} = 8{,}861 \text{ mg N.}$$

Da nun während der Respirationsversuche laut Tabelle P_5 im Mittel der Anfangs- und Endbestimmungen das Gewicht 98,275 kg, der Minutenweg 73,95 m betrug, kommen von dem Ruhewerth auf 1 kg und 1000 m Weg $\frac{8{,}861 \times 1000}{98{,}275 \times 73{,}95}$ $= 1{,}219$ mg N. Wir haben daher im Ganzen pro kg und 1000 m $= 2{,}762$ mg N. Dieser Stickstoffmenge entsprechen, nach den früher für 1 mg N gegebenen Zahlen:

	16,75 ccm O,	13,28 ccm CO_2.	Im Ganzen haben wir zu Beginn der Arbeit
laut Tabelle P_5	156,06 „ O,	131,56 „ CO_2.	Es beträgt daher d. Antheil der N-freien Stoffe
	139,31 ccm O,	118,28 ccm CO_2,	RQ = 0,849.

Am Schlusse der Arbeit haben wir laut Tabelle P_5 175,60 ccm O, 140,83 ccm CO_2; daher Antheil der N-freien Stoffe 158,85 ccm O, 127,55 ccm CO_2, RQ 0,803.

Die Wärmeproduction beträgt

für 2,762 mg N	=	75,0 calorien,
„ 139,31 ccm O bei 0,849 RQ	=	677,3 „ ,
„ 158,85 „ O „ 0,803 RQ	=	763,3 „ .

Demnach gesammte Energie bei Bewegung von 1 kg um 1000 m

zu Beginn des Marsches		752,3 calorien,
„ Ende „ „		838,3 „ .

Den Ruhewerth von P. hatten wir zu 1345 calorien pro Minute berechnet. Es entfällt davon auf 1 kg und 1000 m Weg

Zu Beginn des Marsches	$\frac{1345 \times 1000}{99{,}00 \times 74{,}12}$	= 183,3 calorien,
„ Ende „ „	$\frac{1345 \times 1000}{97{,}55 \times 73{,}79}$	= 186,8 „ .

Für die Arbeitsleistung (1 kg × 1000 m) bleiben daher übrig

Zu Beginn des Marsches		569,0 calorien.
„ Ende „ „		651,5 „ .

Für die Steigarbeit von 1,891 Meterkilogramm entfallen hiervon nach der Berechnung Seite 243

Zu Anfang des Marsches		14.2 calorien,
„ Ende „ „		16.0 „ .

Schliesslich bleiben daher für die reine Fortbewegung von 1 kg um 1000 m auf genau horizontaler Bahn

Zu Anfang des Marsches		554,8 calorien,
„ Ende „ „		635.5 „ ,
Im Mittel		595,2 calorien.

Die Steigerung des Verbrauchs durch die Ermüdung beträgt hier 80,7 calorien = 14,5 pCt. des Anfangswerthes. Zur Berechnung des Verbrauchs während des gesammten Marsches bleibt, wie bei B. ausgeführt, die Korrektur für die

geringe Steigarbeit besser weg, da ja draussen auch kleine Steigungen und Senkungen des Weges zu überwinden waren, deren Werth im Ganzen wohl auch nicht weniger als 1,89 m pro km betrug. Wir haben dann im Mittel pro kg × 1000 m zu rechnen 610,3 calorien. Diese Zahl mit Weglänge und Gewicht an den drei Marschtagen multiplicirt, ergiebt:

Marsch 23 am 26. Juni mit 26,735 × 99,155 . . . . 1618 Calorien,
„ 24 „ 27. „ „ 26,967 × 97,66 . . . . 1607 „ ,
„ 25 „ 28. „ „ 26,872 × 96,81 . . . . 1588 „ .

Diese Werthe sind noch etwas zu klein, weil draussen schneller als auf der Tretbahn marschirt wurde. Am 26. Juni wurden in der Minute 91,7 m im Durchschnitt zurückgelegt, am 27. Juni 90 m pro Minute, am 28. Juni 83,6 m pro Minute[1]), gegen 74 m im Durchschnitt auf der Tretbahn. Für jedes Meter Zuwachs der Geschwindigkeit berechnen wir wie bei Herrn B. eine Steigerung der pro kg und 1000 m aufgewendeten Energiemenge um 2,4 calorien. Der Mehraufwand beträgt bei Marsch 23, wo die Geschwindigkeit um 91,7 minus 74,0 = 17,7 m erhöht ist:

17,7 × 2,4 × 24,75 × 99,55 calorien = 104 Calorien
bei Marsch 24: 16 × 2,4 × 24,75 × 97,66 „ = 93 „
„ „ 25: 9,6 × 2,4 × 24,75 × 96,81 „ = 55 „

Demnach beträgt der ganze Energieaufwand für

Marsch 23 . . . . . 1722 Calorien
„ 24 . . . . . 1700 „
„ 25 . . . . . 1643 „

Bei den seiner Zeit von Herrn Nehring publicirten Berechnungen waren diese Korrekturen noch nicht berücksichtigt worden, doch weichen seine Zahlen 1684, 1664 und 1613 Calorien nur innerhalb zulässiger Fehlergrenzen von vorstehenden ab, sodass seine Schlussfolgerungen zu Recht bestehen.

Bei den drei hintereinander während des Bilanzversuches ausgeführten Märschen mit leichtem Gepäck No. 26—28 (siehe Tabelle P_3) am 3., 4. und 5. Juli legte Herr P. mit

---

[1]) Es sei hier noch darauf aufmerksam gemacht, dass die Nachwirkung der ermüdenden Märsche mit schwerem Gepäck sich auch darin ausspricht, dass die Marschgeschwindigkeit beim zweiten Marsch ein wenig, beim dritten erheblich abgenommen hat. (Die Ruhepausen, welche natürlich für die Geschwindigkeitsberechnung von der ganzen Marschdauer abgezogen sind, waren stets gleich lang.)

Einschluss des Ganges auf der Tretbahn folgende Wege zurück:

				Geschwindigkeit draussen
Marsch 26:	26047 m	in 280 Minuten	= 93,0 m pro Minute	95,2
„ 27:	27184 m	„ 306,5 „	= 88,7 m „ „	91,7
„ 28:	27120 m	„ 319 „	= 85,0 m „ „	86,8
Im Ganzen	80351 m	„ 905,5 „		

Das mittlere Gewicht auf den drei Märschen war 89,75 kg. Die Mehrausscheidung von Stickstoff in Folge der Märsche betrug 17,32 g, also pro kg × 1000 m Weg = 2,402 mg N. Hierzu kommt der Ruheumsatz von 8,861 mg N pro Minute, demnach $\frac{8{,}861 \times 1000}{90{,}76 \times 75{,}20} = 1{,}298$ mg N pro kg und 1000 m.

Im Ganzen also 3,700 mg N.

Den 3,70 mg N entsprechen nach den S. 261 gegebenen Daten 22,44 ccm O-Verbrauch, 17,79 ccm CO_2 = 100,4 calorien.

Im Ganzen wurden zu Beginn der Märsche pro kg und 1000 m gebraucht

laut Tabelle P_3 149,77 ccm O. 126,56 ccm CO_2; also für N-freie Stoffe 127,33 „ „ 108,77 „ „
R.-Q. = 0,854, daher 619,8 calorien.

Im Ganzen für 1 kg und 1000 m **720,2** calorien.

Am Schluss der Märsche ergiebt Tabelle P_3:

158,73 ccm O . . . 124,60 ccm CO_2; also für N-freie Stoffe
136,29 „ O . . . 106,81 „ CO_2: RQ = 0,784. daher 651,7 calorien.
Im Ganzen für 1 kg um 1000 m . . . **752,1** „ .

Von dem Ruheumsatz in Höhe von 1345 calorien pro Minute entfallen auf 1 kg und 1000 m

Zu Beginn des Marsches $\frac{1345 \times 1000}{91{,}04 \times 75{,}875} = 194{,}7$ calorien.

„ Ende „ „ $\frac{1345 \times 1000}{90{,}49 \times 74{,}525} = 199{,}4$ „ .

Demnach beträgt der Mehrverbrauch für Leistung eines Marsches von 1000 m pro kg bewegter Masse

zu Beginn der Märsche . . . . 525,5 calorien.
„ Ende „ „ . . . . 552,7 „ .

Wenn wir hiervon denselben Abzug wie vorher, nämlich 14,2 calorien für die Anfangs-, 16,0 calorien für die End-

märsche machen, so bleiben für die Fortbewegung von 1 kg um 1000 m auf streng horizontaler Bahn

Anfangs	511,3 calorien
Ermüdet am Schluss . .	536,7 „
Im Mittel	524,0 calorien.

Die Steigerung des Verbrauchs durch die Ermüdung beträgt hier 25,4 calorien, also knapp 5 pCt. des Anfangswerthes, während sie bei der Belastung mit 31 kg 14,5 pCt. betragen hatte und hier ausserdem der Verbrauch pro kg gleich Anfangs 554,8 calorien, also um 43,5 calorien = 8,5 pCt. höher gewesen war.

Für die einzelnen Märsche eliminiren wir die Steigarbeit, wie vorher, nicht und benutzen dabei das Mittel $\frac{525,5 + 552,7}{2}$ = 539,1 calorien pro kg und 1000 m.

Wir erhalten so

Marsch 26	bei	26,047 m	und	90,385 kg	=	1269 Calorien.
„ 27	„	27,184 m	„	89,860 kg	=	1317 „ .
„ 28	„	27,120 m	„	88,746 kg	=	1298 „ .

Auch hier muss der Verbrauch wegen der grösseren Geschwindigkeit draussen grösser gewesen sein, als auf dem Tretwerk.

Wie bei Marsch 23—25 berechnen wir den Geschwindigkeitszuwachs gegenüber der auf dem Tretwerk benutzten mittleren Geschwindigkeit von 75,2 m

bei Marsch 26	zu	$20 \times 2,4 \times 24,75 \times 90,385$	calorien	=	107	Calorien,
„ „ 27	„	$16,5 \times 2,4 \times 24,75 \times 89,86$	„	=	88	„ ,
„ „ 28	„	$11,6 \times 2,4 \times 24,75 \times 88,746$	„	=	61	„ .

Es beträgt demnach der gesammte Kraftverbrauch für die Marschleistung

bei Marsch 26:	1269	+ 107	=	1376	Calorien.
„ „ 27:	1317	+ 88	=	1405	„ .
„ „ 28:	1298	+ 61	=	1359	„ .

Auch diese Zahlen weichen von den durch Herrn Nehring benutzten: 1346, 1372, 1320 Calorien nur in ganz unerheblichem Maasse ab.

Wir wenden uns nunmehr zu den S. 240 besprochenen Märschen bergauf zurück, um auch bei ihnen aus dem Gaswechsel die aufgewendete Energie zu berechnen. Nachdem wir (S. 265) gesehen haben, dass die Resultate fast dieselben sind, ob wir die Steigerung des Eiweissumsatzes durch die

Arbeit möglichst hoch einschätzen, oder ob wir annehmen, der Eiweissumsatz bleibe derselbe, wie in der Ruhe, wollen wir hier mit der letzteren für die Rechnung bequemeren Annahme rechnen.

Wir benutzen daher die (S. 258) unter Berücksichtigung des Eiweisszerfalls berechneten Werthe für den Energieumsatz beider Herren in der Ruhe

1210,2 calorien pro Minute bei Herrn B.
1345,0 „ „ „ „ „ P.

Die gesammte Energieentwickelung berechnet sich bei Herrn P. wie folgt:

Vor dem Marsch pro Minute (vgl. Tab. P_2, S. 240)

	1386,3 ccm O,	1162.4 ccm CO_2, davon Antheil des Eiweiss (S. 261)	
	53,7 „ O,	42,6 „ „	= 240.9 calorien.
für N-freie Stoffe	1332,6 ccm O,	1119,8 ccm CO_2, (RQ = 0.840)	= 6463.1 „ .
		im Ganzen	6704.0 calorien.
		ab Ruheverbrauch . . .	1345.0 „ .
„ 73,47 kg und 71.39 m Weg			= 5359.0 calorien.
„ 1 kg „ 1000 m „			= 1021.7 „ .

Nach dem Marsch pro Minute:

	1404,9 ccm O.	1107,5 ccm CO_2, davon ab Antheil des Eiweiss	
	53,8 „ O,	42,7 „ „	= 240.9 calorien.
für N-freie Stoffe	1351,1 ccm O.	1064,8 ccm CO_2 (RQ = 0.788)	= 6467.1 „ .
		im Ganzen	6708.0 calorien.
		ab Ruheverbrauch . . .	1345,0 „ .
„ 72.96 kg und 69,75 m Weg			= 5363.0 calorien.
„ 1 kg „ 1000 m „			= 1053.9 „ .

Der Verbrauch ist im ermüdeten Zustand um 3,1 pCt. gesteigert.

Bei Herrn B. haben wir im Anschluss an die Mittelwerthe pro Minute in Tabelle B_2 folgende Rechnung:

Vor dem Marsch:

	1290,9 ccm O.	1088.6 ccm CO_2. davon Antheil des Eiweiss (S. 261)	
	43,4 „ O,	34.4 „ „	= 194.3 calorien.
für N-freie Stoffe	1247,5 ccm O.	1054.2 ccm CO_2 (RQ = 0.845)	= 6058.6 „ .
		im Ganzen	6252.9 calorien.
		ab Ruheverbrauch . . .	1210.2 „ .
„ 71,04 m Weg und 67.78 kg			= 5042.7 „
„ 1000 m „ „ 1 kg			= 1047.3 „

Nach dem Marsch:

	1290,1 ccm O,	966.4 ccm CO_2,	davon ab Antheil des Eiweiss	
	43,4 „ O,	34.4 „ „	= 194,3	calorien.
N-freie Stoffe	1246.7 ccm O,	932.0 ccm CO_2 (RQ = 0,748)	= 5905,7	„ .
		im Ganzen	6100,0	calorien,
		ab Ruheverbrauch . . .	1210,2	„ .
69,61 m Weg und 66,96 kg			= 4889,8	calorien,
1000 m „ „ 1 kg			= **1049,0**	„ .

Hier ist also die geringe Steigerung des Sauerstoffverbrauchs im ermüdeten Zustande durch das Minus an Kohlensäure vollständig ausgeglichen; der Energieverbrauch beim Bergaufsteigen hat also durch die Ermüdung, welche der horizontale Marsch mit schwerem Gepäck, 27—31 kg, bewirkte, gar keine Steigerung erfahren, während diese Steigerung bei Herrn P. den geringen Betrag von 3 pCt. hatte. — Wenn man Tabelle P_2, Stab 5 und 10 betrachtet, wird man finden, dass hier diese Steigerung ausschliesslich durch den 21. Juni, den letzten von 3 anstrengenden Marschtagen bedingt ist, sodass man wohl behaupten kann, dass die Steigerung des Verbrauchs durch Ermüdung sich bei Aenderung der Art der Arbeit (Bergaufsteigen ohne Gepäck an Stelle des Horizontalmarsches mit schwerer Last) nur bemerkbar macht, wenn die Ermüdung sehr hochgradig ist. Es stimmt dies mit der subjectiven Erfahrung, welche man bei Wanderungen im Gebirge macht, durchaus überein.

Für die Ermittelung der Ermüdungswirkung durften wir nur die Tage verwerthen, an welchen vor und nach dem Marsche Bestimmungen ausgeführt wurden. Zum Vergleich mit dem Verbrauch beim horizontalen Gang müssen wir aber auch die Versuche vom 18. Juni berücksichtigen, um so mehr, als gerade an diesem Tage beide Bewegungsformen hinter einander untersucht wurden. Aus den hierher gehörigen, in Tab. P_2 und B_2 an erster Stelle stehenden Mittelwerthen berechnen wir ganz in der eben ausgeführten Weise den Kraftverbrauch. Wir finden so bei

P.	für	71,32	m	Weg	bergauf	bei	73,02	kg	Gewicht: 5216.6 calorien.
	„	1000	m	„	„	„	73,02	kg	„ 73,145 Calorien,
	„	1000	m	„	„	für	1	kg	„ 1001.7 calorien,
B.	„	71.095	m	„	„	bei	67.81	kg	„ 4894.5 „ ,
	„	1000	m	„	„	„	67,81	kg	„ 68.843 Calorien,
	„	1000	m	„	„	für	1	kg	„ 1015,2 calorien.

In derselben Weise, wie das eben mit den beim Bergaufsteigen gefundenen Werthen geschehen ist, sind auch die Werthe der Tabellen P_1 und B_1 auf ihr calorisches Aequivalent zu berechnen.

Aus P_1 entnehmen wir für eine Minute mit Bewegung von 72,93 kg um 73,50 m:

	Sauerstoffverbrauch	Kohlensäure		
	864,2 ccm	706,9 ccm		
hiervon für Eiweiss	53,7 „	42,6 „	= 240,5	cal.
für N freie Stoffe	810,5 ccm	664,3 ccm		
Das giebt RQ = 0,82 und für 810,5 ccm O			= 3911,4	„
Energieentwicklung in jeder Minute . . .			= 4151,9	cal.,
hiervon ab der Ruhewerth pro Minute . .			= 1345,0	„
Arbeitswerth . . .			= 2806,9	cal.
Das macht für 72,93 kg und 1000 m . .			= 38,188	Cal.
Für 1 kg und 1000 m . .			= 523,6	cal.

In Tab. B_1 haben wir einen Minutenweg von 76,465 m bei 67,921 kg Gewicht und

	Sauerstoffverbrauch	Kohlensäure		
	833,2 ccm,	694,5 ccm		
hiervon für Eiweiss	43,4 „	34,4 „	= 194,3	cal.
für Fett u. Kohlenhydrat	789,8 ccm	660,1 ccm		
$\frac{660,1}{789,8}$ = 0,836 (RQ) wobei 789,8 ccm O			= 3827,2	„
Energieentwicklung in jeder Minute . . .			= 4021,5	cal.
hiervon ab der Ruhewerth pro Minute . .			= 1210,2	„
Arbeitswerth . . .			= 2811,3	cal.
Das macht für 67,921 kg und 1000 m . .			= 36,766	Cal.
Für 1 kg und 1000 m . .			= 541,3	cal.

In Gleichungen, welche den S. 241 für die Berechnung des Antheils der reinen Horizontalbewegung und der Steigarbeit am Sauerstoffverbrauch angesetzten entsprechen, können wir jetzt die vorstehend gefundenen Zahlen für den Energieverbrauch bei Bewegung von 1 kg um 1000 m einsetzen. Diese Gleichungen lauten dann

für Herrn P.:

$$x + 65{,}186\ y = 1001{,}7$$
$$x + 1{,}8909\ y = 523{,}6$$

für Herrn B.:

$$x + 65{,}186\ y = 1015{,}2$$
$$x + 1{,}8909\ y = 541{,}3$$

Die Ausrechnung ergiebt

für Herrn P.:

$x = 509{,}3$ cal. erforderlich zur Horizontalbewegung von 1 kg und 1000 m

$y = 7{,}5535$ cal. erforderlich zur Leistung von 1 mkg Arbeit durch Hebung des Körpers auf sanft ansteigender Bahn

für Herrn B.:

$$x = 527{,}14 \text{ cal.}$$
$$y = 7{,}487 \text{ cal.}$$

Genau wie es eben für Tab. P_1 und P_2, B_1 und B_2 geschehen ist, haben wir nun auch für die noch übrigen Tabellen P_4, B_4 und B_5, sowie für die in die erste Zeit fallenden mit Ablegung des Gewehrs und z. Th. auch des Tornisters ausgeführten Versuche der Tabellen P_7 und B_7 den calorischen Werth der zur Fortbewegung von 1 kg über 1000 m aufgewendeten Arbeit berechnet.

Die Resultate sind in zwei Tabellen (S. 278) zusammengestellt. Diese Tabellen lassen sofort einige merkwürdige Thatsachen erkennen. Zunächst hat die Grösse der Belastung keine einfache Beziehung zur Grösse der chemischen Spannkraft, welche zur Fortbewegung von 1 kg über die Wegeinheit erforderlich ist. Herr P. hat bei einer Belastung von 22 kg (P_3) und von 27 kg (P_4) denselben Verbrauch wie beim Gehen in leichtem Anzug (P_1); bei der geringen Belastung von 12 kg ist der Verbrauch bei ihm am grössten, erheblich grösser als bei schwerstem Gepäck. Bei Herrn B. lässt sich noch evidenter erkennen, dass andere Momente von grösserer Bedeutung sind als die Belastung. Unter seinen Versuchen mit schwerstem Gepäck finden wir einige (in Tab. B_8 zusammengestellt), in welchen sein Verbrauch den höchsten Werth zeigt, während eine zweite Gruppe (B_5) einen noch erheblich geringeren Verbrauch aufweist, als die

Tabelle 24.

Energieverbrauch des Herrn P. für die Fortbewegung von 1 kg um 1000 m bei gleichzeitiger Steigung um 1.891 m.

Vor dem Marsch				Nach dem Marsch ermüdet			Steigerung des Kraftverbrauchs durch die Ermüdung	
Specialtabelle	Zahl der Versuche	Bewegtes Gewicht (Körper u. Belastung)	calorien	Zahl der Versuche	Bewegtes Gewicht	calorien	absolut in calorien	in Procenten des Anfangsverbrauchs
P_1	9	72,93	523,6					
P_7	10	81,82	601,6	8	81.09	710,1	108,5	18.0
P_3	4	91.04	525,5	6	90,49	552,7	27,2	5,2
P_4	12	95,44	523,0	12	94,45	621,0	98,0	18.7
P_5	16	99.00	569,0	12	97.55	651,5	82.5	14,5

Tabelle 25.

Energieverbrauch des Herrn B. für die Fortbewegung von 1 kg um 1000 m bei gleichzeitiger Steigung um 1.891 m.

Vor dem Marsch				Nach dem Marsch ermüdet			Steigerung des Kraftverbrauchs durch die Ermüdung	
Specialtabelle	Zahl der Versuche	Bewegtes Gewicht (Körper u. Belastung)	calorien	Zahl der Versuche	Bewegtes Gewicht	Calorien	absolut in calorien	in Procenten des Anfangsverbrauchs
B_1	12	67,92	541,3					
B_7	6	75,68	547,8	6	75,67	583.4	35.6	6.5
B_3	2	86,55	600,3	3	85.40	651,3	51.0	8.6
B_4	12	90,40	563,5	10	89.47	574,5	11.0	2.0
B_5	6	93,83	506,6	5	93,27	518.8	12.2	2.4
B_8	4	95,17	638.1	4	93,60	695.9	57.8	9,1

Versuche in leichter Kleidung ohne Gepäck. Die Ursache des hohen Kraftverbrauchs in B_8 haben wir bereits besprochen: es ist die entzündliche Reizung der Sehnenscheiden, welche

ihm das Gehen anstrengend und schmerzhaft machte. — Hier wiederholt sich eine Erfahrung, welche Hagemann und Zuntz vielfach beim Pferde machen konnten; auch dort bedingten die verschiedensten Formen von Sehnen- und Hufleiden zum Theil ganz enorme Steigerungen des Kraftverbrauchs beim Gehen, derart, dass zahlenmässig nachgewiesen werden konnte, wie unökonomisch die Verwendung von Pferden mit andauernden derartigen Leiden sich wegen der höheren Futterkosten gestaltet.

Ein zweites Moment, welches die Wirkung der wechselnden Belastung zum Theil übercompensirt, ist die Uebung, das fortschreitende Training der Herren.

Zuntz und Katzenstein haben bereits betont, dass der Verbrauch für eine bestimmte Arbeit mit wachsender Uebung sich vermindere, andererseits hat Loewy gezeigt, dass der Verbrauch bedeutend erhöht wird, wenn die thätige Muskelgruppe allzu stark angestrengt wird. Systematisch haben auch Gruber und Schnyder die Frage untersucht und gezeigt, dass einerseits mit fortschreitender Uebung, andererseits mit zunehmender Kräftigung des Körpers (bei Rekonvalescenten) der Energieverbrauch für die Arbeitseinheit abnimmt. Diese Erfahrungen kommen bei Deutung der hohen Zahlen der Tab. P_7 und B_7 mit der geringen Belastung von nur etwa 12 kg in Betracht. Diese Versuche gehören den ersten Märschen No. 3—8 an; sowohl das Marschiren an sich, als auch speciell die Athmung durch den Apparat während des Marschirens, wurden erst im Laufe dieser Märsche ordentlich eingeübt. Dies prägt sich bei Herrn P. auch sehr deutlich in der fortschreitenden Abnahme des Verbrauchs aus. Auch ohne Abzug des Ruhewerthes ist in diesen Versuchen der auf 1 kg und 1000 Meter reducirte Sauerstoffverbrauch ein gutes Maass des Kraftaufwandes, weil Weg und Gewicht nur wenig verschieden sind.

Dieser Sauerstoffverbrauch ist im Mittel der zwei Bestimmungen:

vor Marsch 3	= 189,3 ccm,	nach Marsch 3	= 188.5 ccm,
„ „ 4	= 175,9 „	„ „ 4	= 206,7 „ .
„ „ 6	= 171,8 „	„ „ 6	= —
„ „ 7	= 150,2 „	„ „ 7	= 175,9 „ .

In Marsch 7 wird zuerst ein den späteren Werthen entsprechender Verbrauch gefunden.

Bei Herrn B. wurden die ersten verwerthbaren Zahlen

am Schlusse von Marsch 4 gewonnen. Auch sie sind auffallend hoch, im Mittel 184,8 ccm gegen 166,9 ccm im Durchschnitt der Tabelle.

Von Marsch 5 ab zeigt sich aber keine fortschreitende Verminderung des Verbrauchs durch die Uebung.

Dass die Ermüdung fast ausnahmslos zu einer Steigerung des Verbrauchs führt, wurde schon hervorgehoben; auch diese Wirkung vermindert sich bei fortschreitender Uebung. Am Schlusse der in Tabelle P_7 zusammengefassten Anfangsmärsche brauchte P. durchschnittlich 108 cal. d. h. 18 pCt. mehr als beim Beginn derselben. Dabei war die Belastung auf diesen Märschen nur 22 bis 24,5 kg und die Weglänge erheblich geringer als später; sie betrug bei Marsch 3 nur 15 km, bei 4 und 5 je 21 km, bei 6 18 km, bei den nächstfolgenden wieder 21 km.

Bei Besprechung der während des Bilanzversuches ausgeführten Märsche wurde schon hervorgehoben, dass bei mehreren auf einander folgenden Märschen die Ermüdung an den späteren Tagen in einer Erhöhung des Verbrauchs für die Wegeinheit zur Geltung kommt. Um diese wichtige Erscheinung genauer studiren zu können, haben wir die nachstehenden Tabellen B_8 und P_8 zusammengestellt. Herr B.

Tabelle B_8. Wirkung mehrerer aufeinander folgender Märsche

Marsch-Nummer	Datum	Vor dem Marsch						
		Weg	Gewicht	pro Minute: Sauerstoffverbrauch	pro Minute: Kohlensäureausscheidung	Resp. Quot.	Sauerstoff pro kg u. 1000 m ccm	Abzüglich Ruhewerth calorien pro kg u. 1000 m
4	S. Mai							
5	9. „	78,34	74,75	936,4	822,8	0,875	159,9	575,8
8	19. „	73,42	76,05	929,7	762,2	0,825	166,5	587.8
9	22. „	74,51	69,10	820,7	721,1	0,880	159.4	545.9
9	22. „	72,90	89,79	961,6	813,0	0,845	147.0	529.0
10	23. „	73,27	91,22	1068,4	897,3	0,842	159,6	593.4
20	19. Juni	71,70	68,05	1303,9	1107.8	0,850	267,2	1051.4
21	20. „	70,40	68,14	1326,7	1120,7	0,845	277,3	1094,4
22	21. „	71,22	67,25	1242,1	1037,3	0,835	259,3	1003.5
16	S. „	—	—	—	—	—	—	—
17	9. „	73,98	94,25	930,0	800,1	0,860	133,4	476.8

lieferte nur wenig brauchbares Material, weil er nur eine der Reihen von 3 aufeinanderfolgenden Märschen ohne Unterbrechung mitmachen konnte. Zwei Märsche hinter einander üben aber, wie die Tabellen zeigen, noch keinen sehr regelmässigen Einfluss aus. So hat B. beim Beginn von Marsch 10 einen erheblich gegen den Anfang von 9 gesteigerten Verbrauch, am Schlusse zeigt aber 10 einen etwas niedrigeren Werth als 9. Bei den Märschen 20, 21 und 22 macht es sich bemerkbar, dass die auf der Tretbahn ausgeführten Wege bergauf ohne Gepäck bei mässiger Steigung, wie schon früher angeführt, wegen anderer Beanspruchung der Muskeln eine Art Erholung gegenüber dem Marsch mit Gepäck darstellen. Sie zeigen deshalb am Schluss keinen höheren Verbrauch als am Anfang und auch keine nennenswerthe Beeinflussung der späteren durch die vorangegangenen Märsche. Nur am Schlusse von Marsch 22 zeigt P. eine Erhöhung des Verbrauchs. — Marsch 17 hat bei B. am Schlusse einen bedeutend höheren Werth als 16.

Deutlicher macht sich die Ermüdung durch Steigerung des Stoffverbrauchs bei P. geltend. Die 3 Märsche No. 11, 12 und 13 bei 27 kg Belastung ergeben am Schluss die Zahlen 573,7, 604,1 und 655,9 cal. Beim letzteren Marsch

auf den Gaswechsel und Kraftverbrauch für die Arbeitseinheit.

Nach dem Marsch ermüdet

Weg	Gewicht	pro Minute: Sauerstoffverbrauch	pro Minute: Kohlensäureausscheidung	Resp. Quot.	Sauerstoff pro kg u. 1000 m ccm	Abzüglich Ruhewerth Calorien pro kg u. 1000 m	
78,48	75,35	1093,0	858,6	0,785	184,7	674,0	
72,22	**75,40**	**927,1**	**683,9**	**0,735**	**170,2**	**581,3**	
72,49	89,00	1045,2	824,7	0,790	162,1	588,7	Ohne Gepäck
72,40	**90,02**	**1006,7**	**792,1**	**0,790**	**154,4**	**553,7**	Mit Gepäck
70,33	66,90	1301,1	1013,2	0,780	276,5	1063,6	Ohne Gepäck bergauf auf d. Tretbahn
68,37	**66,52**	**1252,1**	**926,3**	**0,740**	**275,3**	**1035,3**	
70,65	**67,45**	**1344,1**	**953,1**	**0,710**	**282,1**	**1069,0**	
74,31	93,30	941,3	773,7	0,820	135,7	480,3	nur ein Versuch
76,68	**93,80**	**1067,0**	**787,1**	**0,735**	**148,3**	**531,8**	nach dem Marsch

Tabelle P$_8$. Wirkung mehrerer aufeinander folgender Märsche

Marsch-Nummer	Datum	Vor dem Marsch						
		Weg	Gewicht	pro Minute: Sauerstoffverbrauch	pro Minute: Kohlensäureausscheidung	Resp. Quot.	Sauerstoff pro kg u. 1000 m ccm	Abzüglich Ruhewerth Calorien pro kg u. 1000 m
7	18. Mai	77,48	82,40	959,3	765,6	0,800	150,1	510,0
8	19. „	73,20	81,70	988,0	832,2	0,840	165,2	576,4
9	22. „	71,85	94,85	998,2	844,2	0,845	146,5	514,1
10	23. „	74,67	96,03	1122,5	953,5	0,850	156,6	573,9
11	28. „							
12	29. „	76,20	94,90	1031,7	888,4	0,860	142,7	509,7
13	30. „	74,56	95,12	1002,4	834,4	0,835	141,3	494,9
20	19. Juni	72,61	73,30	1422,1	1214,0	0,850	267,1	1046,2
21	20. „	70,01	73,97	1397,5	1150,0	0,825	269,8	1044,0
22	21. „	71,56	73,15	1339,4	1123,3	0,840	255,9	994,3
23	26. „	73,60	101,06	1169,8	1013,2	0,870	157,3	588,0
24	27. „	73,40	99,60	1104,0	950,3	0,860	151,0	552,2
25	28. „	74,62	98,93	1288,2	1075,8	0,840	174,5	664,2
26	3. Juli							
27	4. „	76,73	91,20	1056,5	903,2	0,855	151,0	543,0
28	5. „	75,01	90,88	1012,7	848,3	0,835	148,5	522,1

erfordert also die Arbeitseinheit 82,2 cal. = 14,3 pCt. des Anfangswerthes mehr als beim ersten. Fast genau so liegen die Verhältnisse bei den 3 Märschen No. 23, 24 und 25 mit 31 kg Belastung. Hier ist die Steigerung noch regelmässiger und auch schon beim Beginn des 25. Marsches sehr stark bemerkbar. Der Ermüdungswerth ist hier vom ersten zum dritten Tage um 52,1 cal. = 8,1 pCt. gewachsen, im Beginn des Marsches werden sogar 76,2 cal. = 13,0 pCt. am dritten Tage mehr gebraucht gegenüber dem ersten. Hier ist an die alte Erfahrung zu erinnern, dass die Empfindungen von Steife und Schmerzhaftigkeit der Muskeln und Sehnen, welche man am Tage nach angestrengten Märschen empfindet, sich mindern oder ganz schwinden, sobald man einige Zeit gegangen ist. Hätten wir auch während des Marsches, etwa nach Zurücklegung von 4 bis 6 km, Respirationsversuche anstellen können, so hätten wir wahrscheinlich einen geringeren Verbrauch als anfangs gefunden, der dann erst allmählich

auf den Gaswechsel und Kraftverbrauch für die Arbeitseinheit.

Nach dem Marsch ermüdet							
Weg	Gewicht	pro Minute: Sauerstoffverbrauch	pro Minute: Kohlensäureausscheidung	Resp. Quot.	Sauerstoff pro kg u. 1000 m ccm	Abzüglich Ruhewerth Calorien pro kg u. 1000 m	
76,06	81,55	1091,0	833,9	0,765	175,9	620,2	
74,22	**81,25**	**1111,4**	**871,7**	**0,785**	**184,3**	**658,5**	
71,18	94,40	1147,6	903,3	0,785	171,0	617,7	
71,96	**95,60**	**1153,9**	**877,5**	**0,760**	**167,7**	**601,4**	
76,11	93,34	1124,3	917,5	0,815	158,3	573,7	
74,70	**94,10**	**1168,1**	**913,1**	**0,785**	**166,3**	**604,1**	
74,53	**94,00**	**1252,0**	**956,4**	**0,765**	**178,2**	**655,9**	
70,40	72,90	1400,8	1130,1	0,805	273,0	1050,3	Ohne Gepäck bergauf vergl. Tabelle P_2.
68,30	**72,92**	**1297,9**	**1009,0**	**0,775**	**260,6**	**973,1**	
70,56	**73,05**	**1516,0**	**1183,5**	**0,780**	**294,1**	**1143,9**	
75,10	99,45	1242,4	1049,0	0,845	166,3	646,4	
72,59	**98,05**	**1253,8**	**1023,5**	**0,820**	**176,2**	**661,3**	
74,57	**97,00**	**1337,3**	**1050,1**	**0,785**	**184,9**	**698,5**	
73,99	90,90	1087,1	875,6	0,805	161,7	577,4	
74,81	**91,00**	**1080,3**	**852,0**	**0,785**	**158,7**	**561,4**	
74,77	**89,58**	**1043,6**	**799,3**	**0,765**	**155,8**	**540,6**	

wächst bis zu den hohen Ermüdungswerthen, welche wir am Schluss der Märsche finden.

In den Märschen 26 bis 28 mit leichtem Gepäck von 22 kg tritt eine Häufung der Ermüdungswirkung nicht zu Tage, was die grossen Vortheile der geringeren Belastung in helles Licht stellt. Das Absinken der Endwerthe bei dem 2. und 3. Marsch wird dadurch erklärt, dass am ersten Tage die schon mehrfach erwähnte enorme Hitze die Anstrengung ausserordentlich steigerte. Man sieht aber, dass die Erholung der Muskulatur von solcher Hitzewirkung viel rascher eintritt, als wie von der Wirkung zu hoher Belastung.

2. Einfluss der Geschwindigkeit auf den Stoff- und Energieverbrauch des Marschirenden.

Wir haben schon S. 266 und später mehrfach hervorgehoben, dass die Geschwindigkeit einen Einfluss auf den

Stoffverbrauch ausübt, in dem Sinne, dass der Verbrauch für die Wegearbeit mit zunehmender Geschwindigkeit wächst.

Schon bei den ersten unter Leitung von Zuntz durch Katzenstein ausgeführten Untersuchungen über den Stoffverbrauch des gehenden Menschen hatte sich ergeben, dass bei schnellerem Marschtempo für die Einheit des Weges erheblich mehr Sauerstoff verbraucht wird. In mehr systematischer Weise untersuchten später Zuntz und Hagemann[1]) beim Pferde den Einfluss der Geschwindigkeit auf den Kraftaufwand, welcher zur Zurücklegung von 1 m Weg erforderlich ist. Sie fanden, dass der Energieverbrauch für die Horizontalbewegung von 1 kg Pferd um 1 m betrug:

Bei	78	m	Geschwindigkeit	pro Minute	= 0,3303	calorien,
„	90,16	m	„	„ „	= 0,3787	„ .
„	98,11	m	„	„ „	= 0,4058	„ .

Durchschnittlich wuchs der Energieaufwand für 1 m Zunahme der Geschwindigkeit um 0,00345 calorien, d. h. um 1,03 pCt. des bei 78 m Geschwindigkeit nöthigen Aufwandes.

Wir können zum Studium dieser Frage mit Sicherheit nur diejenigen unserer Versuche verwerthen, in welchen am selben Tage bei gleicher Belastung und im gleichen Ermüdungszustande mit erheblich, d. h. um wenigstens 3 m verschiedener Geschwindigkeit marschirt wurde. Wir haben die hiernach in Betracht kommenden Versuche im Folgenden übersichtlich zusammengestellt, zunächst für Herrn B. in Tab. B_6. Damit bei der Berechnung des Energieverbrauchs auch der im Ruhestoffwechsel enthaltene Antheil des Eiweisses genügend Berücksichtigung finde, haben wir vom Minutenwerth des Sauerstoffs und der Kohlensäure (vergleiche Generaltabelle I., im Anhang) die mittleren Zahlen für den Ruhestoffwechsel 252,6 ccm O und 211,2 ccm CO_2 abgezogen und den so erhaltenen Arbeitswerth eingetragen (Stab 4 und 5): hieraus den respiratorischen Quotienten und dann mit Hülfe von Tabelle VII Anhang, den Calorienverbrauch pro Minute und daraus durch Division durch Weg und Gewicht (Stab 2 und 3) den Verbrauch an Energie pro kg und 1000 m berechnet.

Aus vorstehenden Daten ergiebt sich der Einfluss der

---

[1]) Zuntz und Hagemann. l. c. S. 309—315.

Tabelle (B_6.)

Einfluss der Geschwindigkeit auf den Verbrauch.

Marsch-Nummer	Datum	Weg pro Minute	Bewegtes Gewicht	pro Min. nach Abzug des Ruhewerthes		RQ	Energieverbrauch für die Arbeit	
				Sauerstoffverbrauch ccm	CO_2-Ausscheidung ccm	des Arbeitsgaswechsels	pro Minute calorien	pro kg und 1000 m calorien
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	30. April	62,71	71,77	630,0	452,9	0,719	2962	658,2
	5. Mai	75,22	74,00	795,7	619,3	0,778	3799	682,6
2	8. „	81.52	75,35	900,4	669,7	0,744	4260	693,6
	nachher	75,41	75,35	780,4	625,2	0,801	3799	668.8
3	22. Mai	68.09	89,00	736,3	571,1	0,776	3513	579,8
	nachher	76,89	89,00	849,0	655,9	0,773	4048	591.6
4	23. Mai	69,69	91.22	729,3	619,7	0,850	3547	557,9
	vorher	76.85	91,22	902,3	752,6	0,834	4370	623,2
5	23. Mai	70,42	90.02	721.3	576,4	0,799	3462	546,2
	nachher	74,39	90,02	786,9	585,4	0,744	3724	556,1
6	1. Juni vorher	75,245	68,25	580,9	515,0	0,887	2851	**555,2**
	(Mittel 2)	89.06	67,95	784,3	633.0	0.807	3772	**623.4**
7	9. Juni	78.11	93,80	848,4	596,5	0,703	3971	542.0
	nachher	75.25	93,80	780,4	555,4	0,712	3662	518,8

Geschwindigkeit auf den Verbrauch für die Wegeeinheit wie folgt:

1.	Beschleunigung	um	12,51 m	erhöht	um	24,4	calorien,
2.	„	„	6,11 m	„	„	24,8	„ .
3.	„	„	8,80 m	„	„	11,8	„ .
4.	„	„	7,16 m	„	„	65,3	„ ,
5.	„	„	3,97 m	„	„	9,9	„ .
6.[1]	„	„	13.82 m	„	„	68,2	„ ,
6.[1]	„	„	13,82 m	„	„	68,2	„ ,
7.	„	„	2,86 m	„	„	23,2	„ .
Summe:	Beschleunigung	um	56,54 m	erhöht	um	271,4	Calorien.

[1]) Diese Zahlen wurden zweimal eingestellt, weil sie das Mittel von 2 Versuchen darstellen.

Im Mittel bedingt also Zunahme der Geschwindigkeit um 1 m eine Zunahme des Verbrauchs um 4,8 calorien, d. h. um 0,84 pCt. des mittleren Verbrauchs dieser 7 Versuche bei 72,76 m Geschwindigkeit, welcher 568,8 calorien beträgt.

Die analogen Versuche bei Herrn P. sind folgende:

Tabelle P_6.

Einfluss der Geschwindigkeit auf den Verbrauch.

Marsch-Nummer	Datum	Weg pro Minute	Bewegtes Gewicht	pro Min. nach Abzug des Ruhewerthes: Sauerstoffverbrauch ccm	pro Min. nach Abzug des Ruhewerthes: CO_2-Ausscheidung ccm	RQ des Arbeitsgaswechsels	Energieverbrauch für die Arbeit: pro Minute Calorien	Energieverbrauch für die Arbeit: pro kg und 1000 m Calorien
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	24. April	53,58	81.2	532,5	405,4	0,761	2531	581.8
	24. „	87,69	81,2	986.0	771,7	0,782	4712	661.8
2	18. Mai	74,92	82,4	618,1	515,1	0.833	2993	484.8
	18. „	80.04	82.4	734.6	558,2	0,759	3490	529.1
3	23. „	72.74	96.03	821,5	705.9	0,859	4004	573.2
	23. „	76,60	96.03	857,6	743,1	0,866	4187	569.2
4	4. Juni	58,21	71,85	438,3	354.5	0,809	2109	504.3
	4. „	76.45	71,85	565.9	448.5	0.792	2711	493.6
	4. „	82,38	71,85	654.0	477,4	0,729	3083	520.8
5	2. Mai	76,92	81,2	912,4	762,5	0.835	4419	707.5
	2. „	93,33	81,2	1134.5	1004,6	0,885	5566	734.5
6	8. „	77,87	79,9	958.9	696,2	0.726	4516	725.8
	8. „	81,67	79,9	1112.1	775.5	0,697	5197	796.4
7	22. „	68.62	94,4	853.7	650.7	0.762	4059	626.6
	22. „	73,74	94,4	875,5	697.9	0.797	4200	603.4

Hier ist der Einfluss der Geschwindigkeit im Grossen und Ganzen ja auch deutlich zu erkennen, aber die Resultate sind nicht so gleichmässig wie bei Herrn B. Natürlich müssen wir, um die wahrscheinlich richtige Wirkung der Geschwindigkeit zu finden, unter diesen Umständen auch die negativen Werthe in Rechnung stellen und thun dies in folgender Uebersicht der Resultate:

1.	Beschleunigung	um	34,11	m.	erhöht	um	80.0	cal.		
2.	„	„	5,12	m,	„	„	44,3	„		
3.	„	„	3,86	m,	„	„	—	„	vermindert um	4,0 cal.
4.	„	„	18,24	m,	„	„	—	„	„ „	10.7 „
4.	„	„	5.93	m.	„	„	27.2	„		
5.	„	„	16,41	m.	„	„	27,0	„		
6.	„	„	3.80	m.	„	„	70.6	„		
7.	„	„	5.12	m.	„	„	—	„	„ „	23.2 „
Summa:	Beschleunigung	um	92.59	m.	erhöht	um	249,1	cal.	vermindert um	37.9 cal.
							— 37,9	„		
							211,2	calorien.		

Zunahme der Geschwindigkeit um 1 m steigert also im Durchschnitt den Verbrauch um 2,3 Calorien, d. h. um 0,39 pCt. von 587 calorien, dem Werthe, welchen der Verbrauch bei dem Mittel der geringeren Geschwindigkeiten (69,91 m) aufweist.

Inzwischen hat noch Dr. Leo Zuntz in seinen Untersuchungen über den Stoffwechsel des Radfahrers[1]) den Einfluss der Geschwindigkeit auf seinen Stoffverbrauch beim unbelasteten Marschiren ermittelt und gefunden, dass er bei ca. 73 kg Körpergewicht pro Meter braucht:

Bei	60 m	Minutengeschwindigkeit	40.3	cal.	=	552	cal. pro kg	und	1000 m
„	100 m	„	47,2	„	=	647	„ „	„	1000 m
„	143 m	„	78.5	„	=	1075	„ „	„	1000 m

Zwischen 60 und 100 m Geschwindigkeit, welche Grenze für uns und überhaupt für normale Marschleistungen allein in Betracht kommt, wächst also der Verbrauch für

40 m Geschwindigkeitszuwachs um 95 calorien, oder für
1 „ „ „ „ 2,4 „ d. h. um

0,425 pCt. des Werthes bei 60 m Geschwindigkeit; sein Werth kommt dem bei Herrn P. gefundenen nahe. In allen Fällen erwies sich der steigernde Einfluss der schnelleren Gangart beim Menschen geringer, als ihn Hagemann und Zuntz beim Pferde gefunden hatten.

Wie schon Katzenstein bei Besprechung der ersten in diesem Laboratorium ausgeführten Gehversuche betont hat, steht das hier gefundene Ergebniss, dass der gleiche Weg um so mehr Arbeit erfordert, je grösser die Geschwindigkeit ist, mit den Resultaten der mechanischen Analyse des Ganges in

[1]) Leo Zuntz. Untersuchungen über den Gaswechsel und Energieumsatz des Radfahrers. Berlin. Hirschwald. 1899.

guter Uebereinstimmung. Dort wurden auch die Versuche von Demeny genauer erörtert und kritisirt, welcher auf Grund von Momentphotographieen nach Marey's Methode aus den Hebungen des Körperschwerpunktes, der abwechselnden Beschleunigung und Hemmung, welche derselbe und die Beine erfahren, den Kraftverbrauch beim Gehen abgeleitet hat. Er berechnete eine noch erheblichere Steigerung der Anstrengung bei wachsender Geschwindigkeit, als wir sie finden. Durch Zuntz und Katzenstein wurde dargelegt, dass die von Demeny seinen Rechnungen zu Grunde gelegte Annahme, der Körper brauche bei Abwärtsbewegung des Schwerpunktes zur Hemmung des Falles annähernd ebensoviel Muskelkraft, wie zu gleich grosser Hebung, falsch sei. Es geht vielmehr aus den Versuchen von Katzenstein, sowie von Zuntz und Hagemann hervor, dass beim Bergabgehen die Beschleunigung durch die Schwere der Fortbewegung des Körpers zu Gute kommt und zwar in relativ um so höherem Maasse, je geringer die Senkung des Weges ist. Es ist daher wahrscheinlich, dass die durch Sinken des Schwerpunktes in der einen Hälfte des Schrittes demselben ertheilte Beschleunigung der Hebung in der nächsten Hälfte nutzbar wird. Ein Theil der lebendigen Kraft der Bewegung muss natürlich bei jedem Schritt in Wärme umgewandelt werden, es bedarf aber, um die Grösse dieses Antheils durch mechanische Analyse mit einiger Sicherheit zu bestimmen, einer eingehenden Würdigung des Zusammenwirkens von Schwerpunktsverschiebungen in senkrechter Richtung und Aenderungen der Geschwindigkeit bewegter Massen; vorläufig muss noch die Messung des Kraftverbrauchs nach unseren Methoden ergänzend eintreten.

Im Hinblick auf die Bedeutung der Trägheit der bewegten Massen für den Arbeitsaufwand beim Gehen erscheint die Frage von Interesse, ob ein Theil der bei einem Schritte aufgewendeten Energie dem folgenden zu Gute kommt, und wie gross dieser Antheil bei verschiedener Geschwindigkeit ist.

Der Kraftaufwand, welcher nöthig ist, um dem ruhenden Körper die Geschwindigkeit, welche er beim Gehen hat, zu ertheilen, ist gleich dem halben Produkt aus der Masse des Körpers und dem Quadrate der Sekundengeschwindigkeit. Für die Gewichtseinheit von 1 kg ist also dieser Kraftaufwand $= \frac{v^2}{2g}$

2 g ist in Berlin = 19,625.

Bei den Versuchen an P. mit schwerem Gepäck war der Minutenweg für die Versuche

vor dem Marsch = 74,12, also V = 1,235,
nach „ „ = 73,79, „ V = 1,230.

Zur einmaligen Erlangung der Marschgeschwindigkeit sind im ersten Falle 0,0777 mkg, im zweiten 0,0771 mkg erforderlich. Nun haben wir S. 277 berechnet, dass 1 mkg Arbeit, wenn P. sie durch mässiges Bergansteigen geleistet, 7,553 cal. erfordert. Die pro kg und 1000 m Horizontalbewegung in diesen Versuchen im frischen Zustande laut S. 270 nöthigen 554,8 calorien bedeuten also $\frac{554,8}{7,553} = 73,45$ mkg Arbeit. Die ermüdet nöthigen 635,5 cal. entsprechen 84,14 mkg. Die für den Marsch pro 1000 m aufgewandte Arbeit entspricht also einer $\frac{73,45}{0,0777} = 945$ mal erfolgenden Vernichtung und Neuerzeugung der Marschgeschwindigkeit bei den Versuchen im frischen Zustande; ermüdet ist die entsprechende Zahl

$$\frac{84,14}{0,0771} = 1091$$

Mit leichtem Gepäck (22 kg) wurden auf dem Tretwerk vorher 75,87, nachher (ermüdet) 74,52 m in der Minute zurückgelegt, also ist v

vorher . . = 1,2645, „ „ = 1,242

Die gleiche Rechnung wie vorher ergiebt, dass die zur einmaligen Erzeugung der Geschwindigkeit nothwendige Arbeit im frischen Zustande 831 mal, im ermüdeten 904 mal aufgewendet wurde, um 1000 m zurückzulegen. — Beim horizontalen Marsch ohne Gepäck (Tab. P_1) berechnen wir aus den früher mitgetheilten Daten in gleicher Weise eine 882 malige Erneuerung der Beschleunigung auf 1000 m Weg.

In direktere Beziehung zur Mechanik des Gehens treten diese Ergebnisse, wenn wir aus ihnen die Beschleunigung berechnen, welche auf jeden Schritt entfällt.

Nach den Angaben der Gebr. Weber würde die Geschwindigkeit von 74 m mit etwa 105 Schritten in der Minute erreicht; für 1000 m wären also 1419 Schritte zu machen und jeder Schritt hätte in dem ersten vorher berechneten Falle $\frac{945}{1419} = 66,6$ pCt. = zwei Drittel der

Arbeit zu leisten, welche nöthig ist, um dem ruhenden Körper die Marschgeschwindigkeit zu geben. Beim Marsche mit schwerem Gepäck in ermüdetem Zustand ist die entsprechende Zahl = 76,7 pCt.; dagegen beim Marsch mit leichtem Gepäck (P_3) zu Anfang = 59,4 pCt.

Die entsprechenden Zahlen für die in Tab. B_5 und B_8 zusammengestellten Versuche an B. bei schwerer Belastung, erstere bei Entzündung der Sehnenscheiden an einem Fusse, letztere bei normalen Füssen, zeigen uns die Grenzen, innerhalb deren unter sonst gleichen Bedingungen der Kraftaufwand schwankt, je nachdem der Marschirende gut disponirt ist oder durch das Bedürfniss, einen schmerzenden Fuss zu schonen bezw. durch grosse Ermüdung zu weniger ökonomischer Arbeit gezwungen wird. Bei den in Tab B_5 zusammengefassten Märschen mit schwerem Gepäck berechnet sich der Aufwand für die Horizontalbewegung von 1 kg über 1000 m zu 65,77 mkg. Bei den analogen Märschen der Tab. B_8 (Sehnenscheidenentzündung am Fuss) zu 83,33 mkg am Anfang, zu 91,05 mkg am Schlusse des Marsches.

Berechnen wir hier in gleicher Weise wie oben den zur Erzeugung der Marschgeschwindigkeit nöthigen Kraftaufwand und dividiren denselben in die eben genannten Zahlen des Arbeitsaufwandes für 1000 m, so ergiebt sich, dass dieser Arbeitsaufwand in B_5 zu 848maliger Erzeugung der Geschwindigkeit ausreichte,

in B_8 am Anfang des Marsches zu 1060 maliger
„ Schlusse „ „ „ 1148 „

Berechnen wir den Zuwachs bezw. Verbrauch an Beschleunigung wiederum für den einzelnen Schritt, so ergiebt sich für die ökonomischste Marschleistung von B, die Versuche der Tab. B_5 im frischen Zustande 59,8 pCt., d. h. eine mit Herrn P.'s ökonomischster Leistung (Tab B_3) fast genau identische Zahl.

Die erschwerten Märsche der Tab. B_8 ergeben dagegen 74,6 pCt. im Anfang, 80,8 pCt. am Schlusse des Marsches.

Da die Variationen der Geschwindigkeit in unseren Versuchen nur geringe sind, wollen wir die vorher (S. 287) schon angeführten Versuche von Leo Zuntz verwerthen, um den Einfluss der Schnelligkeit des Marsches auf die bei jedem Schritt dem Körper zu gebende Beschleunigung zu berechnen. Die calorischen Werthe (vgl. S. 287) dividiren wir durch 7,5,

um ihr Aequivalent in mechanischer Arbeit zu finden. Es ergiebt sich dann, dass zur Zurücklegung von 1000 m Weg pro kg Körpergewicht aufgewendet wurden

bei 60 m pro Min. = 1,000 m pro Sec. 73,60 mkg mechan. Arbeit
„ 100 „ „ „ = 1,667 „ „ „ 86,27 „ „ „
„ 143 „ „ „ = 2,383 „ „ „ 143,33 „ „ „

Der zur einmaligen Erzielung der Geschwindigkeit erforderliche Arbeitsaufwand ist für die 3 Geschwindigkeitskategorien:

0,05096 — 0,1416 — 0,2894 mkg.

Die zur Zurücklegung von 1000 m aufgewendete Arbeit entspricht der Erneuerung dieser Geschwindigkeit:

1444mal — 609mal — 495mal.

Die Zahl der hierbei gemachten Schritte war etwa:

1550 — 1290 — 1175.

Die für jeden Schritt aufgewendete Arbeit entspricht also der Neuerzeugung folgender Antheile der Geschwindigkeit:

92,0 pCt. — 47,2 pCt. — 42,2 pCt.

Diese Zahlen stehen in guter Uebereinstimmung mit den Ergebnissen bei unseren Marschirenden, welche je nach ihrer mehr oder weniger guten Disposition bei 70—75 m Minimalgeschwindigkeit 59 bis 80 pCt. der Beschleunigung bei jedem Schritt aufwenden mussten, das sind Zahlen, welche zwischen den von Zuntz bei 60 m und bei 100 m gefundenen liegen.

Weisbach schätzt, wie wir F. A. Schmidt entnehmen, den Arbeitsaufwand für den natürlichen Gang über eine horizontale Strecke S gleich dem Arbeitsaufwand beim Steigen auf die Höhe $\frac{S}{12}$ d. h. das Gehen über einen Weg von 1 km erfordert eine mechanische Arbeit =

$$\frac{1000}{12} = 83{,}33 \text{ mkg.}$$

Diese Zahl kann nach dem vorher Gesagten nur für eine bestimmte Geschwindigkeit richtig sein, sehen wir, wie sich unsere Ergebnisse dazu stellen. Wir fanden die Arbeit für Zurücklegung eines Kilometers bei P.:

		Im frischen Zustande	Im ermüdeten Zustande
Tab. P_5	Belastung mit 31 kg	= 73,45 mkg	84,14 mkg
„ P_3	„ „ 22 „	= 67,7 „	71,1 „
„ P_1	„ nur mit leichter Kleidung	= 67.4 „	—

Die entsprechenden Werthe bei B. lauten:

		Im frischen Zustande	Im ermüdeten Zustande
Tab. B_8	Belastung mit 31 kg (fusskrank) . =	83,1 mkg	90,8 mkg
„ B_5	„ „ 31 „ (Füsse gesund) =	65.8 „	68.8 „
„ B_3	„ „ 22 „ . . . . . =	78,3 „	85.1 „
„ B_1	„ nur mit leichter Kleidung =	70,4 „	—

Man sieht aus vorstehenden Zahlen, dass die Arbeit bei der von uns auf dem Tretwerk innegehaltenen Geschwindigkeit von 70—75 m geringer ist, als sie Weisbach schätzt und zwar sowohl mit als ohne Gepäck; 70 mkg, die meist, wenn keine besondere Schädigung vorlag, von uns gefundene Zahl, entspricht etwa dem Steigen auf die Höhe $\frac{S}{14}$. — Nach den oben angeführten Ermittelungen von Leo Zuntz würde der Arbeitsaufwand bei etwa 91 m Geschwindigkeit den Betrag von 83,3 mkg erreichen. Weisbach's Zahl ist also für die normale Marschgeschwindigkeit des deutschen Soldaten gerade zutreffend. Für Schätzungen der Arbeit bei militärischen Märschen in der Ebene auf festem Wege kann man also das Gewicht des Marschirenden inclusive Gepäck mit der Weglänge in Metern mutipliciren und durch 12 dividiren, um die Arbeit in Meterkilogrammen zu berechnen. Die so gewonnene Zahl mit 7,5 multiplicirt giebt den Mehrverbrauch an Energie bezw. an Nährstoff in Grammcalorien während des Marsches, im Vergleich zu einer gleich langen Zeit absoluter Ruhe.

An derselben Stelle (S. 413 des Buches) citirt Schmidt neben der Zahl Weisbach's, die wie gesagt nur für eine bestimmte Geschwindigkeit richtig ist, die oben schon als viel zu hoch kritisirten Berechnungen von Marey und Démeny, sowie einige Zahlen von Hildebrand, deren Ableitung nicht ersichtlich ist. Nach Marey und Démeny berechnet er folgende Grössen für einen 75 kg wiegenden Menschen, neben welche wir die richtigen, aus unseren und Leo Zuntz' Versuchen berechneten Werthe stellen.

Bei 3,6	km pro Stunde	Arbeitsleistung	=	**43200** mkg	statt	= **19870**	mkg
„ 6,04	„ „	„	=	78960 „	„	= 39080	„
„ 7,128	„ „	„	=	189000 „	„	= 76440	„

Die letzte Zahl 76440 ist noch zu hoch, da der Berechnung die Geschwindigkeit 8,6 km pro Stunde zu Grunde gelegt ist. Die Zahlen Démeny's sind also um mehr als

das Doppelte zu gross und der Fehler wächst mit wachsender Geschwindigkeit, offenbar, weil der von uns nachgewiesenen grossen Beharrung bei schnellem Gang nicht Rechnung getragen wird[1]). Auch Hildebrand's Zahlen sind viel zu hoch. Er giebt für schnellen Marsch (1 km in 10 Min. 24 Sec., das ist 96 m in der Minute) den Kraftaufwand eines 75 kg schweren Mannes zu 9018,75 mkg für den Kilometer an, das wäre pro Kilogramm und Kilometer **120,25** mkg; in Wirklichkeit werden bei etwas grösserer Geschwindigkeit nur **86** mkg, also etwa $^1/_3$ weniger, gebraucht. Für langsamen Promenadenschritt (1 km in 34 Min. 43 Sec., d. h. 28,5 m pro Minute) rechnet Hildebrand einen noch etwas höheren Verbrauch als beim raschen Marsch, nämlich 9027 mkg pro Kilometer. Wir haben so langsamen Gang selbst nicht untersucht, wir wissen aber aus den Erfahrungen am Pferde und aus Versuchen, welche Frentzel und Reach im hiesigen Laboratorium angestellt und vor kurzem publicirt haben[2]), dass in der That der Verbrauch für die Wegeinheit wieder etwas zunimmt, wenn die Geschwindigkeit unter eine gewisse Grenze sinkt. Diese Grenze beträgt beim Pferde 55—60 m pro Minute und dürfte beim Menschen etwa bei 50 m liegen.

Ganz in der vorher geübten Weise berechnet sich aus den eben citirten Versuchen die Arbeitsleistung

von	Frentzel	bei	66,94	m	pro Minute	zu	79,7	mkg	für 1 kg u.	1000 m
„	Reach .	„	63,95	„	„	„	80,8	„	„ 1 „	„ 1000 „
Im Mittel	.	bei	65,45	m	pro Minute	zu	**80,25**	mkg	für 1 kg u.	1000 m

andererseits bei ganz langsamem Gang

von	Frentzel	bei	35,92	m	pro Minute	zu	84,8	mkg	für 1 kg u.	1000 m
„	Reach .	„	34,58	„	„	„	88,2	„	„ 1 „	„ 1000 „
Im Mittel	.	bei	35,25	m	pro Minute	zu	**86,5**	mkg	für 1 kg u.	1000 m

Nach Hildebrand würde für 1 kg und 1000 m aufzuwenden sein: $\frac{9027,1}{75} = \mathbf{120,4}$ mkg Arbeit. Während bei normalem Marschtempo die gesammte Arbeit kleiner ist, als

---

[1]) Rubner giebt in seinem Lehrbuch der Hygiene (Auflage von 1900) die mechanische Leistung des belasteten Infanteristen zu 417000 mkg an, also fast doppelt zu hoch. Die von Rubner angenommene Arbeitsgrösse würde eine Zulage im Werthe von 3100 Calorien zur Ruhekost erfordern!

[2]) Frentzel und Reach, Untersuchungen zur Frage nach der Quelle der Muskelkraft. Pflüger's Archiv. 83. 1901. S. 494.

sie sein müsste, wenn bei jedem Schritte die Marschgeschwindigkeit aufs Neue zu erzeugen wäre, ist sie bei solch gezwungen langsamem Schritt grösser. Wir können bei 35,25 m Minutengeschwindigkeit die Schrittdauer zu 0,870 Sec., die Schrittlänge also zu 0,511 m veranschlagen. Es werden also zur Zurücklegung von 1000 m **1956** Schritte gemacht. Die Secundengeschwindigkeit von 0,5875 m erfordert zu ihrer einmaligen Erzeugung 0,01759 mkg Arbeit. Der Arbeitsaufwand von 86,5 mkg entspricht also einer **4918**maligen Erneuerung der Beschleunigung des Körpers. Bei jedem Schritte wird etwa $2\,^1/_2$mal so viel Arbeit aufgewendet als zur Erzielung der Geschwindigkeit theoretisch nöthig wäre. Wenn man bei solch langsamem Gang auf die subjectiven Empfindungen der Muskelanstrengung achtet, gewahrt man deutlich, dass man den Körper bei jedem Schritt in dem Augenblick, in welchem das Stützbein die senkrechte Lage einnimmt, hebt. Diese Empfindung hört bei etwas rascherem Gange auf, offenbar weil jetzt die in diesem Moment abnehmende Geschwindigkeit des Schwerpunkts fast ausreicht, um die Hebung zu bewirken.

Bei den bisherigen Betrachtungen haben wir die auf die Gewichtseinheit bezogenen Leistungen der Versuchspersonen ohne Weiteres mit einander verglichen. Das ist aber eigentlich nur dann zulässig, wenn es sich um Personen von gleicher Grösse handelt. Wie v. Hösslin[1]) wohl zuerst ausführlicher begründet hat, ist der Verbrauch für die Horizontalbewegung verschiedener Menschen und Thiere nicht dem Körpergewicht (K), sondern dem Quadrat der dritten Wurzel dieses Gewichts, also dem Ausdruck $K^{2/3}$ proportional. Die Richtigkeit dieses mechanisch-mathematisch von v. Hösslin abgeleiteten Satzes konnte der eine von uns[2]) durch vergleichende Messungen des Stoffverbrauchs verschieden schwerer Menschen und Thiere beim Marschiren bestätigen. Wir sehen ihn aufs Neue bestätigt in den oben angeführten Versuchen von Frentzel und Reach. Herr Frentzel wog zur Zeit der Versuche 86,5 kg, Herr Reach 65,8 kg; ersterer brauchte

---

[1]) H. v. Hoesslin, Ueber die Ursache der scheinbaren Abhängigkeit des Umsatzes von der Grösse der Körperoberfläche. Archiv für (Anatomie u.) Physiologie. 1888. S. 340.

[2]) Zuntz, Ueber den Stoffverbrauch des Hundes bei Muskelarbeit. Pflüger's Arch. 68. S. 208.

bei 66,94 m Geschwindigkeit 79,7 mkg } für 1 kg und
letzterer „ 63,95 m „ 80,8 mkg } 1000 m

Die um 3 m grössere Geschwindigkeit bei Frentzel hätte den Verbrauch um wenigstens 1 mkg höher als bei Reach gestalten müssen; wir finden das Gegentheil als Folge des grösseren Gewichts von Frentzel.

Von unseren 2 Marschirenden ist Herr P. um etwa 4 kg schwerer und um 1 cm länger als Herr B. Der hiernach zu erwartende geringere Verbrauch des Herrn P. für die Gewichts- und Wegeinheit trifft in der That zu, wenn wir die Märsche ohne Gepäck (Tab. P_1 und B_1) vergleichen. Hier brauchte Herr P. pro Kilogramm und 1000 m 523,6 cal. Herr B. 541,3 cal.

Bei stärkerer Belastung verwischen die früher besprochenen störenden Momente die Wirkung der geringen Gewichtsdifferenz.

Die mehrfach citirten Versuche von Braune und Fischer enthalten alles Material, um aus den für jede Phase des Ganges genau bestimmten Lagen und Geschwindigkeiten der Schwerpunkte des Gesammtkörpers und der einzelnen Glieder die Arbeit, welche die Muskeln dabei leisten müssen, zu berechnen. Eine solche Berechnung ist demnächst von Herrn Otto Fischer zu erwarten. Es wäre von uns vermessen, ihr durch eine Ueberschlagsrechnung auf Grund des bis jetzt publicirten Materials vorgreifen zu wollen.

Wir haben aber zu unserer eigenen Orientirung derartige Ueberschlagsrechnungen ausgeführt, wobei wir nur die am meisten in Betracht kommenden Hebungen und Beschleunigungen des Gesammtschwerpunktes und des Schwerpunktes der Beine in Betracht zogen. Diese Rechnungen haben uns überzeugt, dass eine gute Uebereinstimmung zwischen unseren Resultaten und der Arbeitsberechnung aus der exacten mechanischen Analyse besteht.

3. Vergleich zwischen Transport des eigenen Körpers und Transport des Gepäcks.

In den bisherigen Betrachtungen haben wir den Kraftaufwand des Marschirenden auf die Einheit der bewegten Masse bezogen, das heisst, wir haben untersucht, wie weit man zu vergleichbaren Werthen kommt, wenn man davon

absieht, wie weit die von den Muskeln bewegte Masse dem Körper selbst angehört oder demselben als Last aufgepackt ist. Es ist aber klar, dass die Bedeutung beider Gruppen zu bewegenden Materials für die arbeitenden Muskeln eine sehr verschiedene ist. Zwischen der Masse des Gesammtkörpers und der Masse seiner Muskulatur besteht eine gewisse Proportionalität. Wenn auch die Menge des im Körper in Form von Fett, Darminhalt und dergl. vorhandenen Ballastes erheblich wechselt, wenn auch die Masse der Muskulatur im Verhältniss zur Körpermasse durch Uebung einseitig vermehrt werden kann, darf man doch annehmen, dass das Verhältniss zwischen thätigen Muskeln und zu bewegender Körpermasse annähernd unverändert bleibt bei verschiedenem Körpergewicht. Dies gilt namentlich, wenn man Personen desselben Alters, welche unter ähnlichen äusseren Bedingungen leben, vergleicht. Sobald der Mensch eine Last zu tragen hat, nimmt die zu bewegende Masse einseitig zu, es muss daher eine gewisse Grenze der Belastung geben, bei welcher die Muskulatur der Aufgabe, die ganze Masse mit einer gewissen Geschwindigkeit fortzubewegen, nicht mehr gewachsen ist. Die Geschwindigkeit der Bewegung einerseits, die Andauer derselben und damit der zurückgelegte Weg andererseits werden um so mehr herabgedrückt, je grösser die Last ist. Aber auch der Verbrauch für die Arbeitseinheit muss wachsen, wie vielfache Erfahrungen an Menschen und Thieren gelehrt haben, wenn die Anforderungen eine gewisse durch die Leistungsfähigkeit der Muskeln bestimmte Grenze überschreiten.

Die Vorgänge bei Bewegung einer Last werden aber weiterhin noch dadurch complicirt, dass je nach der Art, wie sie am Körper angebracht ist, mehr oder weniger grosse Muskelkräfte zur Erhaltung des Gleichgewichts (Balancirarbeit) aufgewendet werden müssen. Der Umstand, dass die obere Extremität mit dem Schulterblatt nur durch Muskeln am Rumpfe befestigt ist, bedingt unter Umständen die Nothwendigkeit ständiger Muskelspannung zur Erhaltung der Extremität und etwa von ihr getragener Last in der gewünschten Lage (statische Arbeit).

Zu dieser Reihe von Momenten, welche das Verhältniss zwischen der Grösse der Last und der Arbeit der sie bewegenden Muskeln compliciren, kommt nun bei der uns in erster Linie interessirenden Arbeit, dem Marsch in ebenem

Terrain, der weitere Umstand, dass die Beziehung zwischen Muskelarbeit und Bewegung des Körpers durchaus keine einfache ist. Die Muskelarbeit dient hier, wie die auf S. 9 u. f. citirten Arbeiten gezeigt haben, zum Theil der abwechselnden Hebung der Füsse behufs Einleitung der Pendelbewegung des Hangbeins, zum Theil der Beschleunigung eben dieses Beines und zum Theil der bei jedem Schritte in Folge des Ueberganges des Stützbeins aus der schrägen in die senkrechte Stellung nöthigen Hebung des Rumpfes. Nur an dieser letzteren Bewegung ist die Last ebenso betheiligt wie der Rumpf und das von ihm getragene Hangbein, während der Kraftaufwand für Hebung und Beschleunigung des Hangbeins durch die Belastung des Körpers nicht geändert wird. Es ist daher sehr gut verständlich, dass bei zweckmässig angebrachter Last und bei einer Gangart, welche die senkrechten Schwankungen des Rumpfes auf ein möglichst geringes Maass zurückführt, der Kraftaufwand beim Gehen nur wenig wächst, dass er also bezogen auf die Einheit der bewegten Masse kleiner wird, wie wir es in unseren Versuchen gefunden haben. Um diese Verhältnisse noch klarer zu beleuchten, wollen wir jetzt den ganzen Kraftaufwand des Mannes für Zurücklegung von 1000 m Wegs berechnen. Wir brauchen hierzu nur die in Tab. 24 und 25 (S. 278) zusammengestellten Mittelwerthe

Tabelle 30.

Energieverbrauch des Herrn P. für reine Horizontalbewegung um 1000 m.

Special-Tabelle	Nacktgewicht	Gewicht, mit welchem marschirt wurde	Last incl. Kleidung	Vor dem Marsch		Nach dem Marsch	
				Energieverbrauch Cal.	Mehrverbrauch in Cal. pro kg Belastung	Energieverbrauch Cal.	Mehrverbrauch in Cal. pro kg Belastung
P_1	68,0	72,9	4,9	37,14			
P_7	69,3	81,8	12,5	48,06	1,43	56,43	2,54
P_3	66,4	91,0	24,6	46,55	0,48	48,74	0,59
P_4	68,6	95,4	26,8	48,57	0,52	57,31	0,92
P_5	66,6	99,0	32,4	54,92	0,65	62,16	0,91

des Calorienverbrauches pro kg und 1000 m mit dem zugehörigen Gewichte des belasteten Körpers zu multipliciren. Vorher eliminiren wir den durch die geringe Abweichung der Tretbahn von der Horizontalen bedingten Mehrverbrauch durch Heben des Körpers und seiner Last um 1,891 m bei Zurücklegung von je 1000 m. Das ist deshalb nöthig, weil der Kraftaufwand für diese letztere Arbeit dem gehobenen Gewicht einfach proportional ist, während für die reine Horizontalbewegung die eben auseinander gesetzten complicirten Beziehungen gelten. Wir hatten (S. 277) den Verbrauch für Hebung von 1 kg um 1 m

zu 7,553 cal. bei Herrn P. und
„ 7,487 „ „ „ B.

bestimmt. Das ergiebt für 1,891 m Steigung einen Abzug von 14,3 bezw. 14,2 cal. pro kg. Die Resultate dieser Berechnung sind Col. 5 und 7, der Tabellen S. 297 und 299 zusammengestellt[1]).

Währen bei P.. nun die Anfangsmärsche mit geringer Belastung und noch mangelhafter Uebung einen abnorm hohen Verbrauch aufweisen und dadurch eine Ausnahme von der Regel machen, dass der Verbrauch mit der Belastung wächst, sehen wir diese Regel bei B. mehrfach durchbrochen; die 3 Serien B_3, B_4 und B_5 zeigen bei wachsender Belastung eine Abnahme der für Zurücklegung von 1000 m verbrauchten Energie. Bei ihm haben Momente, welche grade bei dem leichteren Gepäck die zweckmässigste Ausnutzung der Muskelkraft hinderten, diese eigenthümliche Wirkung hervorgebracht. In der Reihe B_3 haben wir für den Anfangsverbrauch nur die Messungen vom 5. Juli (Marsch 28); hier ist aber im Protocollbuch notirt:

„B. klagte schon beim Ausrücken über starke Fussschmerzen (kl. Gelenke) ähnlich stark wie beim 25. Marsch."

Bei letzterem ist notirt: „Herr B. klagte von Anfang an über Fussschmerzen, die sich namentlich in den letzten 7 km sehr steigerten."

---

[1]) Die in Col. 4 angegebene Last weicht von der in den früheren Tabellen angegebenen etwas ab; dort war das Gewicht der Last direct bestimmt, hier ist es aus der Differenz des durchschnittlichen Nacktgewichts und des bei Beginn des Marsches auf der Tretbahn festgestellten „marschirenden Gewichts" abgeleitet. Die wechselnde Füllung des Darmes und der Blase, ferner die nicht unerhebliche Masse von Feuchtigkeit in den Kleidern erklären die Differenzen.

Tabelle 31.
Energieverbrauch des Herrn B. für reine Horizontalbewegung um 1000 m.

Special-Tabelle	Nacktgewicht	Gewicht, mit welchem marschirt wurde	Last incl. Kleidung	Vor dem Marsch		Nach dem Marsch	
				Energieverbrauch Cal.	Mehrverbrauch in Cal. pro kg Belastung	Energieverbrauch Cal.	Mehrverbrauch in Cal. pro kg Belastung
B_1	62,0	67,9	5,9	35,79			
B_7	63,9	75,7	11,8	40.32	0,77	43,05	1,23
B_3	62,7	86,5	23.8	50,71	0,83	54,39	1,04
B_4	62,3	90,4	28,1	49,63	0,62	50,11	0,64
B_5	62,0	93,8	31,8	46,19	0,40	47,05	0,43
B_8	62,5	95,2	32,7	59,36	0,88	63,79	1,04

Die hier und bei Marsch 23 Herrn B. quälenden Fussschmerzen hatten, wie S. 249 besprochen, eine derartige Steigerung des Verbrauchs bewirkt, dass wir uns genöthigt sahen, diese 2 Märsche von den übrigen bei schwerer Belastung ausgeführten abzutrennen und in Tab. B_8 besonders zu behandeln. B_3 und B_8 stehen also unter der Einwirkung derselben Schädlichkeit, sie zeigen unter sich verglichen den zu erwartenden Mehrverbrauch mit wachsender Belastung. Es bleibt aber die Anomalie bestehen, dass B_5 trotz grösserer Last einen geringeren Verbrauch aufweist als B_4.

Nachdem wir erkannt haben, welche Bedeutung Unbequemlichkeiten des Schuhwerks und kleine Störungen im Bereich der Sehnen und Bänder des Fusses für den Kräftehaushalt beim Gehen haben, werden wir auch hier an derartige, nicht protocollirte Unregelmässigkeiten denken müssen.

Wir berechneten (S. 277) den Energieverbrauch für die Horizontalbewegung des nicht belasteten Körpers

bei Herrn P. zu 0,509 Kal. p. kg und 1000 m
„ „ B. „ 0,527 „ „ „ „ „ „

Wenn wir diese Zahlen mit den in Stab 6 und 8 der Tab. 31 zusammengestellten vergleichen, erkennen wir, dass,

unseren vorher angestellten Betrachtungen entsprechend, der Mehrverbrauch für Fortbewegung einer zweckmässig dem Körper aufgelegten Last unter günstigen Umständen d. h. bei guter Uebung und normaler Beschaffenheit des Bewegungsapparates geringer sein kann, als der Verbrauch für die Fortbewegung des gleichen Gewichts am eigenen Körper. Das ist der Fall bei Herrn P. in den Versuchen von Serie P_3. Hier war, am Schluss der Versuchsreihe, die Trainirung am vollkommensten, die Last war eine geringe, die Fortbewegung von 1 kg Last verbrauchte nur 0,48 Cal. d. h. 94 pCt. der Energie, welche zur Fortbewegung von 1 kg Körpersubstanz in der Reihe P_1 nöthig war. Die entsprechende Versuchsreihe bei Herrn B. zeigte in Folge des damals bestehenden Fussleidens abnorm hohen Verbrauch, dafür liefert derselbe in Reihe B_5 den Beweis, dass selbst die von uns im Allgemeinen als entschieden zu hoch erkannte Belastung mit 31 kg unter günstigen Umständen noch so ökonomisch transportirt werden kann, dass der Mann, welcher zur Fortbewegung seines eigenen Körpers über 1 km pro kg 0,527 Cal. braucht, das kg der Last unter Aufwand von nur 0,40 Cal. ebensoweit bringt. Die Bewegung der Last erforderte hier nur 76 pCt. der Energie, welche die Bewegung des gleichen Körpergewichts verlangt. In wie vorzüglicher Condition sich Herr B. bei diesen Versuchen befand, geht auch daraus hervor, dass hier auch die Ermüdung am Schlusse des 25 km langen Marsches den Verbrauch nur wenig gesteigert hat, so wenig, dass selbst jetzt die Fortbewegung von 1 kg Last mit 0,43 Cal. nur 82 pCt. des Verbrauchs für die Bewegung von 1 kg Körpersubstanz erheischte. Es ist gewiss kein Zufall, dass nach diesen Märschen, in welchen Herr B. die besten Leistungen in Bewältigung der schweren Last aufwies, auch die aus Taf. I zu ersehenden Einwirkungen des Marsches auf das Herz und die Schweisssecretion besonders geringfügig waren, die psychische Reaction und die ergographische Leistung durch die Märsche sogar gebessert wurden.

Wir haben nun noch einige Versuche zu betrachten, in welchen die Wirkung der Last auf den Gaswechsel dadurch studirt wurde, dass unmittelbar hintereinander oder an zwei aufeinander folgenden Tagen ein Marsch mit und einer ohne Gepäck auf dem Tretwerke ausgeführt wurde. Wir stellen dieselben hier in den Tab. 32 und 33 zusammen.

Tabelle 32.

arschiren ohne und mit Gepäck unter gleichen Bedingungen (P.).

Marsch-Nummer und Datum	Ohne Gepäck					Mit Gepäck				
	Weg pro Minute	Gewicht	pro Minute: Sauerstoffverbrauch	pro Minute: Kohlensäureausscheidung	Sauerstoffverbrauch pro kg und 1000 m	Weg pro Minute	Gewicht	pro Minute: Sauerstoffverbrauch	pro Minute: Kohlensäureausscheidung	Sauerstoffverbrauch pro kg und 1000 m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
22. Mai	72.95	74,20	914,5	765,6	168,95	71,20	94,85	979,2	833,6	145,0
	74,97	74.20	904,3	796,6	162,6	72.50	94,85	1017,2	854,8	147,9
26. „	75,04	73,95	908,7	775,6	163,8	77,23	95,85	1084,7	863.0	146,5
	75,91	73,95	923,4	773,2	164,5	76,49	95,85	1087,2	852,1	148,3
1. Juni[1]	74.75	73,00	798,1	654,0	146,3					
2. „						76,65	95,90	1100,7	954,3	149,7
						75,92	95,90	1061,8	907,6	145,8
4. „	76,45	71,85	848,9	677,5	154,55					
	82,38	71,85	937,0	706,4	158,3					
5. „						74,81	99,37	1158,1	1003,9	155,8
						74,97	99,37	1123,3	963,4	150,8
mme . .	532,45	513,00	6234,9	5148,9	1119,00	599,77	771,94	8612,2	7232,7	1189,8
ttel . . .	76,06	73,28	890,7	735,6	159,85	74.97	96,49	1076,5	904,1	148,7

Wenn wir zunächst aus den Mittelwerthen für Herrn P. in gewohnter Weise unter der Annahme, dass pro Minute 53,7 ccm O und 42,6 ccm CO_2 auf Eiweiss entfallen, die entwickelte chemische Energie berechnen und für den Ruheverbrauch pro Minute 1345 cal. abziehen, ergiebt sich

	für	76,06 m	Weg bei	73,28 kg	ein Aufwand von	2943,1	cal.
das ist	„	1000 „	„	„ 73,28 „	„ „	„ 38,694	Cal.
	„	1000 „	„	„ 1 „	„ „	„ 528,0	cal.
	nach Abzug von		14,3 cal.	für die Steigarbeit	bleiben	513,7	„

[1]) Der Versuch vom 1. Juni ist minderwerthig, weil ein Versuch ganz verloren ist und von dem vorhandenen die Controlanalyse verunglückt ist, — doch sind wir nicht berechtigt, ihn auszuschalten.

Tabelle 33.

Marschiren ohne und mit Gepäck unter sonst gleichen Verhältnissen. Mittel von je zwei hintereinander ausgeführten Versuchen. (B.)

Marsch-Nummer und Datum	Ohne Gepäck					Mit Gepäck				
	Weg pro Minute	Gewicht	pro Minute: Sauerstoffverbrauch	pro Minute: Kohlensäureausscheidung	Sauerstoffverbrauch pro kg und 1000 m	Weg	Gewicht	pro Minute: Sauerstoffverbrauch	pro Minute: Kohlensäureausscheidung	Sauerstoffverbrauch pro kg
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9. 22. Mai	74,51	69,10	820,7	721,1	159,4	72,90	89,79	961,6	813,0	147.(
26. „	75,68	67,95	818,1	696,0	159,0	76,97	91,01	1062,0	900,5	151.(
1. Juni	75,25	68,25	833,5	726,2	162,3					
2. „						76,41	90,01	1052,8	913,1	153,(
Mittel . . .	75,15	68,43	824,1	714,4	160,2	75,43	90,27	1025,5	875,5	150,5

Für die Versuche mit Gepäck berechnen wir folgende Zahlen:

Gewicht

für 74,97 m Weg bei 96,49 kg ein Aufwand von 3859,3 cal.
das ist „ 1000 „ „ „ 96,49 „ „ „ „ 51,476 Cal.
„ „ „ 1000 „ „ und 1 „ „ „ „ 533,5 cal.
nach Abzug von 14,3 cal. für die Steigarbeit bleiben 519,1 „

Im Durchschnitt dieser Versuche wird also die Masse des unbelasteten Körpers ein wenig ökonomischer bewegt, als die des belasteten, trotzdem bei letzterem der um 1 m langsamere Gang ein wenig zu Gunsten der Krafterspariss wirkt.

Betrachten wir nun aber die Versuche vom 22. Mai und vom 26. Mai, welche in sofern die besten sind, als die Märsche mit und ohne Last am hellen Tage unmittelbar hintereinander ausgeführt wurden, so gestaltet sich das Bild etwas anders. Das Mittel dieser Versuche ergiebt auch fast identische Marschgeschwindigkeit: 74,74 m ohne Gepäck, 74,36 m mit Gepäck. Wir haben hier ohne Gepäck

für 74,74 m Weg bei 74,075 kg ein Aufwand von 3078,9 cal.
also „ 1000 „ „ „ 74,075 „ „ „ „ 41,195 Cal.
„ „ 1000 „ „ und 1 „ „ „ „ 556,1 cal.
nach Abzug von 14,3 cal. für die Steigarbeit bleiben **541,8** „

Mit Gepäck haben wir folgende Zahlen:

für 74,36 m Weg bei 95,35 kg Gewicht einen Aufwand von 3662,7 cal.
„ 1000 „ „ „ 95,35 „ „ „ „ „ 49,26 Cal.
„ 1000 „ „ und 1 „ „ „ „ „ 516,6 cal.
nach Abzug von 14,3 cal. für die Steigarbeit bleiben **502,3** „

Diese direkt zusammengehörigen Versuche zeigen also, dass der mit etwa 26 kg belastete Körper auf 1 kg der gesammten fortbewegten Masse 39,5 cal. oder 7,3 pCt. weniger braucht, als der unbelastete.

Der Mehrverbrauch des ganzen Mannes für die zugelegte Last von 21,28 kg beträgt hier 7,31 Calorien oder für jedes kg Last **343,5** calorien gegenüber einem Verbrauch von 541,8 calorien für die Fortbewegung von 1 kg des Körpers für sich.

Für Herrn B. kommen nur die beiden Doppelversuche vom 22. Mai und 26. Mai als unmittelbar vergleichbar in Betracht, allenfalls kann man noch die Versuche vom 1. Juni und 2. Juni, der erstere ohne, der letztere mit Gepäck, in Vergleich stellen, dagegen müssen die analogen Versuche vom 11. Juni und 12. Juni unberücksichtigt bleiben, weil B. bei dem einen nüchtern war, beim anderen reichlich gefrühstückt hatte, sodass ungleiche Verdauungsarbeit die Vergleichbarkeit stört. Die Versuche sind in Tab. 33 derart zusammengefasst, dass für die beiden zusammengehörigen Versuche jedes Tages die Mittelwerthe aufgeführt sind. Die Reduktion auf calorische Werthe mit Hülfe der früheren Annahme, dass bei B. pro Minute 43,4 ccm Sauerstoff, 34,4 ccm Kohlensäure und 194,3 calorien auf Eiweiss entfallen, und dass der Ruheverbrauch 1210,2 calorien beträgt, ergiebt für die Versuche vom 22. Mai.

für 74,51 m Weg und 69,10 kg einen Aufwand von 2796,1 cal.
„ 1000 „ „ „ 69,10 „ „ „ „ 37,527 Cal.
„ 1000 „ „ „ 1 „ „ „ „ 543,1 cal.
nach Abzug von 14,2 cal. für Steigarbeit bleiben **528,9** „

Mit Last haben wir an demselben Tage:

für 72,90 m Weg und 89,79 kg Gewicht einen Aufwand von 3447,0 cal.
„ 1000 „ „ „ 89,79 „ „ „ „ „ 47,283 Cal.
„ 1000 „ „ „ 1 „ „ „ „ „ 526,6 cal.
nach Abzug von 14,2 cal. für Steigarbeit bleiben **512,4** „

Hier werden also belastet auf 1 kg bewegter Masse 16,5 calorien oder 3,1 pCt. weniger verbraucht. Die zugelegte Last von 20,69 kg steigert den Verbrauch pro 1000 m um 9,756 Calorien, die Fortbewegung von 1 kg Last erfordert also 471,5 calorien, während die Fortbewegung von 1 kg unbelasteter Körpermasse 528,9 calorien verlangt.

Die gleiche Berechnung der 4 Versuche vom 26. Mai ergiebt folgende Zahlen.

Unbelastet:

für	75,68	m	Weg	und	67,95	kg	Gewicht	beträgt der Aufwand	2755,2	cal.
„	1000	„	„	„	67,95	„	„	„ „	36,406	Cal.
„	1000	„	„	„	1	„	„	„ „	535,8	cal.
	nach Abzug von 14,2 cal. für Steigarbeit bleiben								521,6	„

Belastet:

für	76,97	m	Weg	und	91,01	kg	Gewicht	beträgt der Aufwand	3937,8	cal.
„	1000	„	„	„	91,01	„	„	„ „	51,161	Cal.
„	1000	„	„	„	1	„	„	„ „	562,15	cal.
	nach Abzug von 14,2 cal. für Steigarbeit bleiben								548,0	„

Hier wurde also umgekehrt die Last etwas weniger ökonomisch bewegt als die Masse des unbelasteten Körpers. Der Unterschied findet seine Erklärung zum Theil in den Unterschieden der Marschgesehwindigkeit mit und ohne Gepäck. Wir wissen ja, dass für jeden Meter Geschwindigkeitszuwachs der Verbrauch pro kg und 1000 m um 2,3 bis 4,8 calorien wächst; nun wurde belastet am 22. Mai etwas langsamer, am 26. Mai etwas rascher marschirt, als unbelastet.

Auch wenn wir die an zwei aufeinander folgenden Tagen gemachten 2 Versuche vom 1. Juni ohne Last, die 2 vom 2. Juni mit Last in unseren Vergleich einbeziehen, ändert sich das Ergebniss nicht. In derselben Weise wie vorher berechnen wir aus dem Mittel der Tabelle 33 folgende Daten.

Ohne Last:

Für	75,15	m	Weg	und	68,43	kg	Gewicht		2800,8	cal.
„	1000	„	„	„	68,43	„	„		37,269	Cal.
„	1000	„	„	„	1	„	„		544,6	cal.
nach Abzug von 14,2 cal. für die Steigarbeit									530,4	„

Mit Last:

Für	75,43	m	Weg	und	90,27	kg	Gewicht		3767,8	cal.
„	1000	„	„	„	90,27	„	„		49,951	Cal.
„	1000	„	„	„	1	„	„		553,4	cal.
nach Abzug von 14,2 cal. für die Steigarbeit									539,2	„

Das Ergebniss vorstehender Berechnungen lässt sich für beide Herren dahin zusammenfassen, dass in der Regel der Energieverbrauch beim Gehen fast genau der bewegten Masse proportional wächst, dass aber unter günstigen Umständen, wobei es wahrscheinlich in erster Linie darauf ankommt, wie die Last am Körper vertheilt ist, die Last mit erheblich geringerem Aufwande fortbewegt wird, als der eigene Körper in unbelastetem Zustande. Im Gegensatz dazu haben wir andere Versuche, in welchen der Verbrauch bei Belastung stärker wächst, als das zu bewegende Gewicht. Die direkten Vergleiche des belasteten und unbelasteten Marsches haben also nur bestätigt, was wir aus den Zusammenstellungen der Tab. 31, S. 299 und Tab. 32, S. 301 gefolgert hatten.

Leider haben wir diese bedeutsamen Unterschiede im Stoff- und Kraftverbrauch beim Marschiren mit gleicher Last erst nach Beendigung der Versuche durch die Berechnung derselben erkannt. Wir haben daher nicht genauer darauf geachtet, welche Unterschiede in der Vertheilung der Last am Körper wohl maassgebend bei Herbeiführung der grossen Unterschiede im Kraftverbrauch waren. — Hier bietet sich künftigen Forschungen noch ein wichtiges und dankbares Feld der Thätigkeit. Mit unseren Methoden wird es leicht sein, für eine gegebene Last die Art ihrer Anbringung am Körper zu ermitteln, bei welcher der sie tragende Soldat das Mindestmaass von Kraft aufzuwenden hat, also auch am Weitesten ohne Ueberanstrengung marschiren kann.

Es lässt sich voraussehen, dass bei dieser günstigsten Bepackung des Soldaten zwei von einander unabhängige Momente in Betracht kommen. Das eine ist die Summe von Muskelspannungen, welche schon beim Stehen aufgewendet werden muss, um die Last in ihrer Lage und den stehenden Körper im Gleichgewicht zu erhalten.

Der Stoffverbrauch für diese Muskelleistungen ist bis jetzt noch sehr wenig untersucht[1]). Nur von Speck[2]) existiren wenige Messungen des Gaswechsels bei dieser von

---

[1]) Es sind augenblicklich auf diese Frage bezügliche Arbeiten im thierphysiologischen Institut der Landwirthschaftlichen Hochschule in Berlin im Gange.

[2]) Speck, Untersuchungen über Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausathmung des Menschen in Schriften der Gesellsch. zur Beförd. der ges. Naturwissenschaften zu Marburg. Bd. 10. 1871. S. 45 ff.

ihm im Gegensatz zur „dynamischen“ Arbeit bei Bewegung der Gliedmaassen als „statische Arbeit“ bezeichneten Beanspruchung der Muskeln. — Mit Recht betont Speck, dass es bei derartigen Versuchen schwer ist zu bestimmen, wie viel Kraft die Muskeln entwickeln und wie viel auf die Festigkeit der Bänder zu rechnen ist. Die beste Anbringung der Last ist offenbar diejenige, bei welcher die Bänder den eigentlichen Halt übernehmen, die Muskeln nur zum Balanciren beansprucht werden; in diesem Falle wird der Respirationsversuch die geringste Steigerung des Gaswechsels ergeben. In einer der Versuchsreihen wurden 10 bis 20 kg in der Hand gehalten, in der anderen 20—50 kg symmetrisch am Nacken aufgehängt. Wenn man den Mehrverbrauch an Sauerstoff gegenüber unbelastetem Stehen in seinen Wärmewerth umrechnet, ergiebt sich, dass jedes kg der am Nacken getragenen Last **10,3** cal. pro Minute erforderte, so lange die Belastung 30 kg nicht überstieg. Eine Last von 40 kg erforderte dagegen 535 cal., also 13,4 cal. pro kg, eine Last von 50 kg endlich, welche als sehr anstrengend empfunden wurde, steigerte den Verbrauch um 1109 cal. d. h. um **22,2** cal. pro kg. Das ist mehr als die doppelte Kraftleistung als bei einer Last von 20—30 kg. Viel stärker wirkte eine in der Hand getragene Last von 10—20 kg, wie man wohl von vorn herein erwarten musste; die Steigerung des Verbrauchs entsprach 27—30 cal. pro kg, war also etwa 3mal so gross, als wenn dieselbe Last am Nacken getragen wurde. Gegenüber unserem Verbrauch von 1200—1300 cal. pro Minute in der Ruhe, würde also eine Last von 30 kg am Nacken angebracht eine Steigerung um 309 cal., also um etwa 25 pCt. bewirken, ebenso stark würden etwa 10 kg wirken, wenn sie an der herabhängenden Hand getragen werden. Der Antheil der „statischen Arbeit“ an dem für das Fortbewegen des Gepäcks auf dem Marsche erforderlichen Kraftaufwand ergiebt sich, wenn wir die Zahlen Speck's mit diesem Kraftaufwand vergleichen. Die Fortbewegung des Gewichts erfordert, wie Tab. 30 S. 297 lehrt, unter günstigsten Umständen 400—500 cal. pro kg und 1000 m, das macht für die Minute bei etwa 75 m Weg 30 bis 38 cal.; 1 kg Belastung am Nacken erfordert nach Speck 10,3 cal., also etwa ein Drittel der ganzen für die Bewegung dieser Last nöthigen Energie; bei unzweckmässiger Anbringung wächst natürlich dieser Verbrauch bedeutend.

Es ist übrigens bei diesen Berechnungen nicht zu vergessen, dass ein geringes Maass von statischer Arbeit die Muskeln mehr ermüdet als eine sehr viel grössere dynamische Arbeit. Das kommt daher, weil bei letzterer die abwechselnden Verkürzungen und Verlängerungen der Muskeln den Blut- und Lymphstrom in ihnen mächtig fördern und dadurch eine viel bessere Ernährung der thätigen Muskeln sichern, als sie bei der stetigen Anspannung durch statische Arbeit möglich ist. Auch abgesehen von diesem Einfluss der intermittirenden Thätigkeit auf die Ernährung ist bedeutungsvoll, dass die Muskeln beim Wechsel von Contraction und Erschlaffung ausserordentlich viel mehr Arbeit leisten können als bei ständiger Anspannung. Es wird also bei Versuchen über die zweckmässigste Anbringung des Gepäcks vor allem darauf ankommen, die „statische Arbeit" auf das geringste Maass zurückzuführen und es so einzurichten, dass auch dieses geringe Maass nicht durch tonische Muskelspannungen, sondern durch intermittirende Beanspruchung von Muskeln in Form von Balancirarbeit zu leisten ist.

In dem Kraftaufwand, welchen Speck als „statische Arbeit" misst, ist nun noch ein Factor enthalten, der unsere besondere Aufmerksamkeit verdient, das ist die Mehrleistung der Athemmuskulatur. Diese Leistung ist freilich „dynamische Arbeit" im strengen Sinne des Wortes, sie lässt sich aber doch von der für die Fortbewegung aufgewandten Arbeit trennen. Beim ruhigen Stehen mit einer Nackenlast von 30 kg ist die Athemgrösse, wie Speck's Versuche zeigen, nur um etwa 25 pCt. erhöht, sicher aber ist wegen der grösseren Widerstände, welchen die Ausdehnung des Thorax begegnet, die Arbeit der Athemmuskeln mehr erhöht. Das zeigt sich, wie in unseren Bestimmungen der Vitalcapacität bei starker Belastung und wie in der flacheren, frequenteren Athmung, die wir bei schwerem Gepäck constatirten (S. 122), so auch in Speck's Versuchen durch eine mit wechselnder Last bemerkbare Abnahme der Athemtiefe, welche durch stärkere Zunahme der Frequenz ausgeglichen wird. Gerade bei Speck tritt dies sehr deutlich hervor, weil er in der Norm eine ungewöhnlich langsame und tiefe Athmung hat. Unbelastet fördert er

mit jedem	Athemzuge	1195	ccm	Luft,	
bei 30 kg	Nebenlast	1180	„	„	
„ 40 „	„	1032	„	„	
„ 50 „	„	1003	„	„	

Erheblich dürfte der Einfluss der erschwerten Arbeit der Athemmuskeln beim Marschiren sein, wobei ja 3—4 mal soviel geathmet wird als im Stehen. Die S. 228 beschriebene Methode, durch Beimischung von Kohlensäure zur Athemluft die Lungenventilation auf die während des Marsches stattfindende Höhe zu steigern, gestattet auch am ruhig mit dem Gepäck stehenden Menschen durch Respirationsversuche festzustellen, welcher Kraftaufwand zur Ueberwindung der durch das Gepäck gesetzten Athemhindernisse nöthig ist. Die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs beim Uebergang von der Ruheathmung zu der Höhe der Lungenleistung, wie sie auf den Märschen stattfindet, wäre das Maass dieses Kraftaufwandes.

Wenn wir die hier erörterten Arbeitsleistungen, welche die Belastung unabhängig von ihrer Fortbewegung dem Körper auferlegt, ins Auge fassen und dabei bedenken, dass dennoch nach unseren Messungen 1 kg Last unter günstigen Umständen ökonomischer transportirt wird als 1 kg Körpersubstanz, so erkennen wir die Bedeutung der S. 296 gegebenen Darlegungen, wonach der Arbeitsaufwand für die eigentliche Fortbewegung der Last erheblich geringer ist als der für die Fortbewegung der Körpermasse selbst. Wir haben aber dort schon gesehen, dass die Gangart diesen Arbeitsaufwand sehr erheblich beeinflusst, dass er am geringsten ist, wenn die senkrechten Schwankungen des Schwerpunktes einerseits, die im Laufe jedes Schrittes eintretenden Wechsel seiner Geschwindigkeit in der Gangrichtung andererseits möglichst gering sind oder einander aufheben. Es ist sicher eine der wesentlichsten Aufgaben bei Einübung des Marsches, diesen vermeidbaren Arbeitsaufwand auf das geringste Maass zu beschränken. Die nach jeder Richtung zweckmässigste Haltung des Marschirenden dürfte sich ja rein mechanisch ausmitteln lassen und die exacten Untersuchungen von Braune und Fischer, welche ja auch den normal bepackten deutschen Infanteristen neben dem unbelasteten Menschen in ihr Bereich gezogen haben, dürften uns auf diesem Wege noch wichtige Förderung bringen[1]). Einfacher aber und sicherer

[1]) Hier sei an die (Abhandl. d. sächs. Ges. d. Wiss. Bd. 25. S. 59) Berechnung des Schwerpunktes des gesammten Gepäcks erinnert, aus welcher hervorgeht, dass derselbe bei ordnungsmässiger Belastung sehr nahe mit dem Schwerpunkt des Körpers zusammenfällt, speciell fast genau in gleicher Höhe über dem Boden liegt, während in der Sagittalebene eine nicht unerhebliche Verschiebung des Schwerpunktes nach hinten constatirt wurde.

erscheint die von uns in diesen Untersuchungen gegangene Bahn, aus dem respiratorischen Stoffwechsel die Grösse der Gesammtarbeit des Körpers zu berechnen. Man wird auf diesem Wege die Wirkung der fortschreitenden Einübung bestimmen können und wird auch leicht so zur Feststellung der besten Bepackungsweise, wie der besten Gangart beim Marsche gelangen. Besonders werth einer genaueren Prüfung erscheint der auf Grund mechanischer Erwägungen von Marey empfohlene und in der französischen Armee viel geübte Geschwindschritt im Beugegang (marche en flexion).

Schliesslich möchten wir noch zur Erläuterung unserer Erfahrungen, welche darthun, in wie hohem Maasse der Verbrauch beim Tragen des Gepäcks durch scheinbar geringe Unterschiede in der Anbringung desselben und in der Gangart beeinflusst wird, auf die entsprechenden Befunde, welche Zuntz und Hagemann beim Pferde gemacht haben, hinweisen. Typische Reitpferde mit kräftigem Rückengewölbe tragen erhebliche Lasten stehend, ohne dass ihr Verbrauch merklich gesteigert ist, während bei anderen Thieren der Ruheverbrauch proportional der Last wächst. Ebenso auffallend sind die Unterschiede bei der Bewegung des Pferdes unter dem Reiter. Das typische Reitpferd bewegt die ihm aufgelegte Last im Schritt und im Trabe mit geringem Mehraufwand an Kraft, so dass der Verbrauch pro Kilogramm bewegter Masse geringer ist als im unbelasteten Zustand. Ein Ackerpferd hingegen braucht zur Fortbewegung der Last mehr Energie als zur Fortbewegung des gleichen Gewichts von seinem Körper. Aehnlich werden bei verschiedenen Menschen kleine Unterschiede bestehen, vor allem aber wird die Uebung und die zweckmässige Anbringung des Gepäcks am Körper es dahin bringen, eine gegebene Last möglichst ökonomisch zu bewegen.

d) Die Wärmeregulirung auf dem Marsche.[1])

Wir haben in dem vorigen Abschnitt die Grösse der Wärmeproduction des marschirenden Soldaten unter verschie-

[1]) Die in diesem Kapitel behandelten Thatsachen hat Herr Dr. Oskar Nehring unter unserer Mitwirkung bearbeitet und in seiner Inaugural-Dissertation (Berlin 1896) ausführlicher besprochen. Hier sei auf diese Abhandlung verwiesen.

denen Umständen kennen gelernt, und gesehen, dass sie je nach der Schwere des Gepäcks und der Schnelligkeit des Marsches 4—5mal so gross ist als in absoluter Ruhe[1]). Es müssen sich daher beim Marsche sehr wirksame Mittel zur Wärmeabfuhr bethätigen, wenn nicht in kurzer Zeit Ueberhitzung des Körpers eintreten soll. Wie naheliegend die Gefahr solcher Ueberhitzung ist, lässt sich durch eine einfache Rechnung darthun. Herr P. entwickelte beispielsweise auf Marsch 23 in 270 Marschminuten 1722 Cal. mehr als in gleicher Ruhezeit, also pro Minute 6,38 Cal. mehr. Da die specifische Wärme des menschlichen Körpers etwa = 0,83 gesetzt werden kann, würde er bei einem Gewichte von 67 kg durch Aufspeicherung von $0{,}83 \times 67 = 55{,}7$ Cal. um 1° C. erwärmt werden. Die durch die Marschirarbeit gesteigerte Wärmeproduction würde also in $\frac{55{,}7}{6{,}38} = 8{,}7$ Minuten die Temperatur des Körpers um 1° C. erhöhen. Man sieht daraus, wie rasch eine Steigerung der Körperwärme zu hoch febrilen und unmittelbar das Leben bedrohenden Werthen auf dem Marsche möglich ist, wenn die Einrichtungen zur Wärmeabfuhr versagen oder auch nur ungenügend fungiren. Die im Allgemeinen nur sehr mässigen Erhöhungen der Körpertemperatur auf unseren Märschen, worüber S. 124ff. berichtet wurde, sind ein Beweis für das vorzügliche Functioniren der Wärme ableitenden Einrichtungen auch unter den schwierigen Verhältnissen eines Marsches in Uniform mit schwerem Gepäck bei sommerlicher Temperatur.

Wir wissen aus den Arbeiten über die Wärmeökonomie des menschlichen Körpers, dass bei Ruhe oder geringfügiger

---

[1]) Hiller (Deutsche militärärztliche Zeischrift. 1885) hat in seinen vortrefflichen Studien über die Wärmeöeonomie des Infanteristen auf dem Marsehe die Grösse der Wärmeproduction in der Ruhe auf Grund älterer Angaben viel zu hoeh, und daher die Steigerung durch die Marschleistung relativ zu niedrig veransehlagt. Er sehätzt die Ruheproduction eines 70 kg wiegenden Menschen nach Helmholtz zu 3.8 Cal. pro Min.. wogegen unsere direeten Messungen (S. 262) in Uebereinstimmung mit anderen neueren Erfahrungen weniger als die Hälfte (1,2—1.35 Cal.) ergeben haben. Für den Marsch nimmt Hiller auf Grund von allerdings nur wenig vergleichbaren Messungen Hirns bei normaler Geschwindigkeit und 35 kg Gepäek eine Verdoppelung des von ihm angenommenen Ruhewerthes also Production von 7,6 Cal. an. Wir finden für den nur 67 kg wiegenden Herrn P. bei nur 31 kg Belastung (6.38 + 1,35) = 7,73 Cal. pro Min.

Muskelthätigkeit die Hauptmasse der im Körper erzeugten Wärme (etwa 70 pCt.) durch Leitung und Strahlung von der Haut abgegeben wird, der Rest dient, abgesehen von dem geringen Antheil, der zur Erwärmung der Athemluft (2—6 pCt.) und der Speisen und Getränke (1—3 pCt.) nöthig ist, zur Verdampfung von Wasser. Soweit diese Wasserverdampfung von der Oberfläche des Athemapparates erfolgt, kann sie sich nicht den Bedürfnissen der Wärmeregulation anpassen, da ihre Grösse durch die äusseren Verhältnisse, speciell den Wassergehalt der eingeathmeten Luft und durch die vom Athembedürfniss regulirte Lungenlüftung bestimmt wird. Nur insofern Erhöhung der Körpertemperatur die Lungenlüftung unabhängig vom Kohlensäuregehalt des Blutes verstärkt, wird die Verdunstung von den Athemwegen der Wärmeregulation dienstbar. Ein solcher Vorgang von hoher Wirksamkeit besteht bekanntlich beim Hunde und wohl bei allen Warmblütern, welche eines ausgebildeten Schweissdrüsensystems entbehren. Andeutungen dieser Anpassung der Athmung an die Bedürfnisse der Wärmeabgabe finden sich aber auch beim Menschen. Der eine von uns (Z.) hatte im vorigen Jahre Gelegenheit, im Verein mit Dr. Tendlau einen Menschen zu untersuchen, welchem die Schweissdrüsen vollständig fehlten. Derselbe zeigte eine aufs doppelte und mehr gesteigerte Lungenventilation, sobald seine Körpertemperatur auf etwa 39° C. gesteigert war, was im Sommer durch Sonnenwirkung oder mässige Arbeit in kurzer Zeit zu Stande kam. Gerade die Beobachtung dieses Menschen konnte zur Evidenz darthun, wie hülflos wir ohne Schweissdrüsen der erhöhten Aussentemperatur gegenüber sind, wie namentlich jede angestrengtere Muskelthätigkeit unmöglich ist, weil die Körpertemperatur alsbald zu bedrohlicher Höhe ansteigt. Da die Hyperämie der Haut, wie sie in warmer Umgebung beobachtet wird, bei diesem Menschen fast so wie bei jedem normalen zu Stande kam und doch die Ueberhitzung durch Arbeit nicht hindern konnte, sieht man leicht, dass vermehrte Strahlung und Leitung von der Haut nicht im Stande ist, jenen grossen Wärmeüberschuss wegzuführen, welchen stärkere Arbeit erzeugt, dass hierzu vielmehr die Verdunstung des Schweisses das einzige ausreichende Hülfsmittel ist. In diesem Sinne konnte der schweissdrüsenlose Mann nur dadurch im Sommer sich eine gewisse Arbeitsmöglichkeit verschaffen, dass er sein Hemd häufig in Wasser tauchte und

so gewissermassen den fehlenden Schweiss von aussen ersetzte. Man findet nicht ganz selten Menschen, deren Schweissdrüsen, wenn auch normal vorhanden, doch schwerer auf die normalen Reize ansprechen; solche Menschen zeigen bei Anstrengungen im Sommer oft dunkelgeröthete, hyperämische aber trockene Haut; sie leiden sehr unter dem Gefühl der Ueberhitzung und sind offenbar der Gefahr des Hitzschlages mehr ausgesetzt als andere; bei starker Anstrengung kommt es dann schliesslich doch zum Hervorbrechen des Schweisses und damit zur Herabsetzung der Temperatur und zu subjectiver Erleichterung; man könnte vielleicht durch kleine Dosen Antipyrin oder eines ähnlich wirkenden Mittels bei solchen Menschen die Schweisssecretion rechtzeitig in Gang bringen und dadurch der Gefahr der Ueberhitzung vorbeugen. Häufiger als diesen schwer Schwitzenden begegnet man Menschen, deren Schweissdrüsen durch allzu erregbare Secretionsnerven ausgezeichnet sind, bei denen der nach geringen Anstrengungen übermässig secernirte Schweiss die Kleidung alsbald durchnässt und damit die Gefahr der nachträglichen Unterkühlung des Körpers herbeiführt.

Als adaequaten Reiz der nervösen Centra der Schweisssekretion müssen wir wohl die erhöhte Temperatur des Blutes bezw. die dadurch erhöhte Temperatur der Centra selbst ansprechen.

Der Schwellenwerth, bei welchem die erhöhte Temperatur wirksam wird, dürfte bei verschiedenen Menschen verschieden sein und hierauf z. Th. dürften die eben hervorgehobenen Unterschiede in der Leichtigkeit des Schwitzens bei verschiedenen Menschen beruhen. Auch wir fanden, wie sich aus dem Folgenden ergeben wird, solche Unterschiede. Aus dem Gesagten folgt ferner, dass jede Muskelthätigkeit mit einer gewissen Erhöhung der Körpertemperatur einhergehen muss, da ja der wesentliche Regulator, die Schweisssekretion, erst durch die erhöhte Temperatur in Gang kommt. Mit dem Gesagten harmoniren die Ergebnisse der Untersuchung von Johansson, welcher gezeigt hat, dass die normalen Tagesschwankungen der Körperwärme des Menschen wesentlich durch die Muskelthätigkeit bedingt sind, dass absolute Ruhe bei längerer Dauer stets zu subnormalen Temperaturen führt.

Mit diesen wärmeregulatorischen Verhältnissen hängt gewiss zum Theil auch die bekannte Erfahrung zusammen, dass

einige Zeit nach Beginn der Arbeit dieselbe leichter von statten geht, eine Erfahrung die namentlich auf Märschen immer wieder gemacht wird und die oft noch schärfer so ausgesprochen wird, dass mit Beginn der Schweisssekretion erst die anfängliche Schlaffheit überwunden und die Höhe der Leistungsfähigkeit erreicht ist. Mit Beginn der Schweisssekretion ist aber, dem vorher Gesagten zu Folge, die Temperatur auf einer gewissen Höhe angekommen, auf der sie sich nun meist lange Zeit unverändert erhält. Diese Thatsache der Einstellung der Körperwärme auf einen höheren Grad ist von Hiller bei seinen vorher citirten Untersuchungen erkannt und mit ähnlichen, von Rosenthal an Thieren beobachteten Gesetzmässigkeiten des Wärmehaushalts, die sich beim Versetzen der Thiere in wärmere Umgebung bemerkbar machen, in Vergleich gestellt worden.

Wir dürfen wohl diese bei Beginn jeder Arbeit stattfindende Erhöhung der Körperwärme als eine äusserst zweckmässige Einrichtung auffassen, bestimmt die Leistungsfähigkeit der Muskeln und Nerven zu erhöhen.

Dass unser Körper nicht ständig in der Ruhe auf dieser günstigsten Temperatur erhalten wird, bedeutet eine Ersparniss an Nährmaterial, denn jeder Grad der Temperaturerhöhung über 37 ° C. bedingt, wie Pflüger gezeigt hat, ein erhebliches Wachsen des Sauerstoffverbrauchs. Es erscheint daher ökonomisch, dass unser Körper etwas tiefer temperirt ist, als dem Optimum seiner Leistungen entspricht, aber sich in wenigen Minuten der Arbeit auf dies Optimum erwärmt.

Für die Beurtheilung der Leistungsfähigkeit des Menschen auf dem Marsche ist nun offenbar das genauere Studium seiner Wärmeregulation und speciell der Anpassung seiner Schweissabsonderung an diese Regulation von grösster Bedeutung. Innerhalb welcher Grenzen der Belastung einerseits, der klimatischen Bedingungen andererseits können wir auf sicheres Fungiren dieses Regulators rechnen, dessen Versagen, wie wir gesehen haben, in kürzester Zeit bedrohliche Ueberhitzung des Körpers bewirken würde?

Für derartig schwere Arbeiten wie sie die Märsche der Infanteristen mit Gepäck darstellen, lagen zur Zeit der Anstellung unserer Versuche noch keine Erfahrungen vor. Pettenkofer und Voit[1]) haben bei ihren bekannten Respi-

[1]) Pettenkofer und Voit. Zeitschr. f. Biologie. II. S. 459.

rationsversuchen am Menschen neben der Kohlensäureabgabe auch die des Wassers berücksichtigt; folgende ihren Arbeiten entnommene Daten zeigen den Einfluss der Lufttemperatur einerseits, der Arbeit andererseits auf die Menge des in 24 Stunden verdampften Wassers; daneben aber tritt ein gewisser Einfluss der Kost und namentlich reichlicher Wasseraufnahme deutlich hervor:

	In 24 h abgegeb. Wasser in g	Mittl. Lufttemp. in ° C.
I. Hunger, Ruhe	828,9	14,1
II. „ „	891,1	15,1
III. „ „ (grössere Wasseraufn.)	1778,5	16,0
IV. Mittlere Kost, Ruhe	828,0	18,6
V. „ „ „	1009,3	16,4
VI. „ „ „	957,4	15,4
VII. „ „ Arbeit	2042,5	22,0
VIII. „ „ „	1411,5	16,1
IX. Eiweissreiche Kost, Ruhe	1110,4	15,6
X. „ „ „	1207,5	16,3
XI. N-lose Kost, Ruhe	925,4	16,4
XII. Morgens und Abends gleiche Kost, Ruhe	1071,1	19,3
XIII. Mittlere Kost, Ruhe (Mann II)	902,6	14,0

Bei den unter Mitwirkung des einen von uns (Z.) ausgeführten Versuchen an 2 hungernden Menschen war auch von J. Munk die tägliche Wasserverdampfung festgestellt worden. Der Mittelwerth (802 g für 24 Stunden) stimmt gut überein mit den entsprechenden Zahlen von Pettenkofer und Voit.

Wenn man in der im Folgenden zu besprechenden Weise den Antheil der Haut einerseits, der Lungen andererseits an dieser Verdunstungszahl berechnet, so kommt man zu der Ueberzeugung, dass der Antheil der Haut verschwindend klein ist, dass also der ruhende hungernde Körper bei Zimmertemperatur keine Wärme durch Verdampfung von der Haut verliert.

Einige Versuche über die Grösse der Schweissabsonderung auf Märschen, welche wir schon S. 199 erwähnt haben, hat Cramer angeführt. Er hat auch die für unsere Untersuchung wichtige Thatsache gefunden, dass nur die allgemeine Temperatur des Körpers die Grösse des Schweisssekretion bestimmt, dass aber die Art der Bekleidung eines einzelnen Körpertheils die Menge des von eben diesem Körpertheil abgesonderten Schweisses nicht beeinflusst. Cramer fand die 24stündige Schweisssekretion schwankend zwischen 190 ccm

bei absoluter Bettruhe und 3208 ccm bei kräftiger Bewegung im Freien. — Gegen die von Cramer geübte Berechnung der Schweissmenge aus der Menge des in die Unterkleider übergetretenen Chlornatriums haben wir schon S. 201 Bedenken geäussert.

Als Grundlage zur Berechnung der Wasserverdunstung diente uns die Gewichtsabnahme auf den Märschen, welche durch Wägung aller Marschirenden unmittelbar vor und nach jedem Marsch festgestellt wurde. Dabei wurden natürlich die während des Marsches erfolgte Aufnahme von Speisen und Getränken und die Entleerungen von Harn event. auch Koth in Rechnung gestellt. Leider konnten die Getränke und die feste Nahrung nicht genau gewogen werden, erstere wurden aus ihrem Inhalt nach bekannten Trinkgeschirren genommen, für die verzehrten Butterbrode wurden durch mehrfache Controlwägungen ermittelte Durchschnittswerthe eingesetzt. Der Urin wurde in einem graduirten Messcylinder gemessen. — Die Differenz zwischen dem um die aufgenommenen Speisen und Getränke erhöhten, um das Gewicht der Entleerungen verminderten Anfangsgewicht und dem Endgewicht bezeichnen wir als „reellen Gewichtsverlust". — Einen Ueberblick über die Grösse dieses reellen Gewichtsverlustes bei den einzelnen Märschen ergiebt die zweite der 10 graphischen Darstellungen auf Tafel I. Die Gewichtsabnahmen sind dort nicht ganz streng richtig als „Wasserverlust" bezeichnet. Von besonderem Interesse ist der Vergleich dieses „Wasserverlustes" mit den unmittelbar darüber dargestellten Befunden der Körpertemperatur und der mittleren Lufttemperatur während des Marsches. Die Lufttemperaturcurve zeigt drei Maxima, das erste niedrigste bei Marsch 5—7, ein höheres bei 15 und 16 und ein drittes höchstes bei Marsch 26. Die gleichen drei Maxima zeigt die Curve des Wasserverlustes und documentirt damit die Bedeutung der Verdunstung als Ausgleich der durch höhere Lufttemperatur erschwerten Wärmeabgabe. Bei ähnlicher Lufttemperatur aber sind die schraffirten Säulen und mehr noch die doppelt schraffirten höher als die weissen, das illustrirt ohne Weiteres den Einfluss der Schwere des Gepäcks auf die Schweissabsonderung. Ziehen wir dann auch die Curve der Körpertemperatur zum Vergleich heran, so finden wir die weitere hochwichtige Thatsache, dass die Körpertemperatur öfter abnorm erhöht ist, wenn der Wasserverlust im Verhältniss zur Lufttemperatur

niedrig ist. Das sehen wir bei Herrn F. und B. in Marsch 14, welcher als besonders anstrengend wegen der schwülen Luft bezeichnet wird. Noch auffälliger ist dies bei Herrn C. in Marsch 26. — Wie wir aus dem Gewichtsverlust mit Hilfe der Daten des Respirationsversuches den Wasserverlust des Körpers berechnen, haben wir S. 202 dargelegt.

Dort ist auch schon gesagt worden, dass die vom Körper abgegebene Wassermenge nicht unerheblich grösser ist als die so berechnete Perspiration. — Eine ziemlich erhebliche Menge Wasser bleibt in den Kleidern und erhöht das Gewicht derselben. Erst bei den letzten 6 Märschen haben wir die Herren auch nackt gewogen und dadurch den in den Kleidern gebliebenen Schweiss ermittelt. Sein Gewicht schwankte zwischen 350 und 995 g.

Zur Beurtheilung der physiologischen Bedeutung der Perspiration ist es entscheidend zu wissen, in wie weit dieselbe durch den Einfluss der meteorologischen Verhältnisse auf die Verdunstung bedingt ist, bezw. wie weit der physiologische Act der Schweissdrüsenthätigkeit verändernd in die Verdunstungsbedingungen eingreift. Um uns hierüber zu orientiren, hingen wir im Moment des Ausrückens der Herren einen gewogenen, mit Wasser gefüllten, oben und unten verschlossenen Schlauch aus vegetabilischem Pergament (künstlicher Wurstdarm) im Freien auf. Im Moment der Rückkehr wurde dieser „Verdunstungsschlauch“ in einen Glascylinder verschlossen und dann seine Gewichtsabnahme bestimmt. Wir stellen in der folgenden Tabelle diese Gewichtsabnahmen, ausgedrückt in Centigrammen, mit den durch Wägen der bekleideten Herren gefundenen „reellen Gewichtsabnahmen“ derselben zusammen. Diese Zusammenstellung ist insofern lehrreich, als sie uns erkennen lässt, dass wohl die Verdunstungsgrösse von einer befeuchteten Oberfläche und von dem Körper des Menschen an manchen Tagen in ähnlicher Weise ab- und zunimmt, dass aber sehr häufig beide ihren besonderen Gang gehen, dass also für die Wasserabgabe der menschlichen Haut Factoren maassgebend sind, welche auf den Schlauch nicht wirken; das sind natürlich in erster Linie die Secretionsverhältnisse der Schweissdrüsen. In noch auffälligerer Weise tritt uns dies Moment als ein individuell verschiedenes bei der Vergleichung der Gewichtsverluste der einzelnen Herren entgegen. Bei diesen Unterschieden spielt zunächst die verschiedene Körpergrösse eine Rolle, der grössere Mensch hat

Tabelle 34.

Datum	Nummer des Marsches und Belastungsgruppe	Mittel d. Lufttemperatur während des Marsches	Verd.-Schlauch in cg	Reelle Gewichtsabnahme in Grammen					Physiologische Verdunstungscoefficienten				
				B.	P.	C.	S.	F.	B.	P.	C.	S.	F.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5.	5 I	15,6	2966	1245	1367	1660	2150	1777	2,597	2,714	3,376	3,841	3,614
5.	6 I	11,6	230	—	—	135	160	—40[1]	—	—	3,541	3,686	—1,049
5.	7 I	16,8	—	1310	1779	1200	1919	240	—	—	—	—	—
5.	8 I	11,3	2176	770	1100	—	1052	940	2,189	2,976	—	2,561	2,606
5.	9 II	8,9	888	787	1058	940	1505	— 8	5,482	7,015	6,385	8,960	0,048
5.	10 II	9.5	866	1655	1092	—	1450	1920	11,821	7,424	—	8,871	14,004
5.	11 II	13.3	—	1680	1785	1110	890	—	—	—	—	—	—
5.	12 II	13,1	1761	—	1505	1535	1745	1395	—	5,032	5,258	5,250	4,778
5.	13 II	13,8	—	1175	1885	—	2260	1770	—	—	—	—	—
6.	14 II	16,0	2109	885	1415	1115	1190	1380	2,596	3,950	3,189	2,990	3,947
6.	15 III	17,6	3647	—	1840	1536	2095	—	—	2,970	2,541	3,044	—
6.	16 III	17,8	—	1570	—	745	1660	—	—	—	—	—	—
6.	17 III[2]	13,4	1915	385[2]	—	1500	1398	1555	1,243	—	4,725	3,877	4,898
6.	18 III	13,0	2500	1205	2295	—	2025	740	2,982	5,405	—	4,194	1,786
6.	19 II	14,5	2315	1580	1140	—	1425	2055	4,222	2,900	—	3,261	5,355
6.	20 III	15.7	1600	2115	2384	1420	2045	1020	8,177	8,771	5,354	6,772	3,845
6.	21 II	14,5	3365	1465	1025	—	1835	882	2,693	1,793	—	2,889	1,581
6.	22 III[2]	14,3	100	445[2]	52	—	—160[1]	1080	27,556	3,061	—	—8,477	65,15
6.	23 III	14,0	—	1565	2225	2575	1775	953	—	—	—	—	—
6.	24 III	15,8	3168	—	1976	1195	1695	455	—	3,672	2,275	2,835	0,866
6.	25 III	18,5	3947	1865	2924	2370	—	2010	2,923	4,362	3,622	—	3,072
7.	26 I	26,4	3088	1845	2850	745	2560	2220	3,695	5,434	1,455	4,392	4,337
7.	27 I	17.3	2262	—	1575	2575	1545	1677	—	4,099	6,883	3.619	4,472
7.	28 I	18,1	—	1575	928	—	1865	1425	—	—	—	—	—

auch eine grössere verdunstende Oberfläche und er producirt bei gleicher Marschgeschwindigkeit eine grössere Wärmemenge, der eine grössere Thätigkeit der Schweissdrüsen entsprechen muss. Wenn die Gewichte zweier Menschen durch p und p_1 ausgedrückt sind, dann stehen bekanntlich ihre Oberflächen zu einander in dem Verhältniss $p^{2/3} : p_1{}^{2/3}$. In demselben Verhältniss aber steht, wie wir S. 294 gesehen haben, ihr Kraftaufwand, also auch ihre Wärmeproduction. Wir brauchen

[1]) Gewichtszunahme in Folge des Regens; auf Marsch 6 fortwährend Regen.

[2]) Marsch 17 zeitweise Regenschauer; Marsch 22 fast beständig Regen.

demnach nur die reellen Gewichtsverluste eines jeden der Herren durch das Quadrat der dritten Wurzel seines Gewichtes zu dividiren, um in Bezug auf Wärmeproduction und verdunstende Oberfläche streng vergleichbare Zahlen zu erhalten. Wenn wir diese Zahlen dann noch durch das Gewicht des vom Schlauche verdunsteten Wassers dividiren, erhalten wir für alle Marschtage und alle Versuchspersonen direct vergleichbare Zahlen. Die Zahlen drücken aus, wieviel Wasser die Oberflächeneinheit der betreffenden Versuchsperson verdunstet, während eine stets gleich bleibende feuchte Oberfläche ein Centigramm Wasser abdunstet. Diese Zahlen, welche wir „physiologische Verdunstungscoefficienten" nennen wollen, sind in Columne 10—14 der Tabelle für jeden der Herren aufgeführt. Sie lassen uns zunächst recht erhebliche individuelle Besonderheiten der gleichzeitig und mit gleicher Belastung marschirenden Herren erkennen. Bei einzelnen auffälligen Zahlen, z. B. der fast fehlenden Perspiration des Herrn F. auf Marsch 9, während die anderen Herren 800 bis 1500 g verdunstet haben, wird der Verdacht eines Wägefehlers nicht zu unterdrücken sein. Es bleiben aber doch auffallende Unterschiede an manchen Tagen. So der viel höhere physiologische Verdunstungswerth von B. und F. gegenüber P. und S. bei Marsch 10. — Der niedrige Werth von B. in Marsch 17, von B. und F. in 18, von P. in 19, von C. und F. in 20, von P. und F. in 21, von F. in 24 u. s. w. Um zu sehen, ob durchgreifende individuelle Unterschiede bestehen, nehmen wir das Mittel aller physiologischen Verdunstungswerthe mit Ausschluss der Regentage 11. Mai und 21. Juni und finden so folgende Zahlen:

B_{12} 4,218, P_{15} 4,568, C_{11} 4,097, S_{15} 4,490, F_{15} 3,947.

Diese Mittelwerthe sind aber noch nicht ohne Weiteres vergleichbar, weil die Unterschiede durch einzelne Marschtage mit extremen Werthen bedingt sein können, an welchen nicht alle Herren theilnahmen. Wir erzielen eine strenge Vergleichbarkeit, wenn wir nur solche Mittelwerthe vergleichen, welche aus denselben Marschtagen gewonnen sind. Leider verfügen wir, wie die Tabelle ergiebt, nur über 5 Marschtage, an welchen alle 5 Herren marschierten und der Verdunstungsschlauch gewogen wurde, von diesen müssen wir noch Marsch 9 wegen des bedenklichen Werthes bei Herrn F. auslassen, es bleiben dann 4 Tage mit folgenden Mittelzahlen,

welche dieselben individuellen Unterschiede wie die Gesammtmittel aufweisen:

4,266 5,217 3,343 4,499 3,936

Die individuellen Unterschiede in der Grösse der Schweisssecretion unter gleichen Verhältnissen treten noch deutlicher hervor, wenn wir die Secretion des ersten der Herren als Einheit benutzen, d. h. die Zahlen der übrigen Herren durch die Perspiration des Herrn B. dividiren. Dann fällt die Beziehung zum Verdunstungsschlauch aus der Betrachtung heraus und wir können auch Marsch 7 und 23, bei welchen dieser fehlt, in das Mittel einbeziehen.

Wir erhalten so für 6 Märsche folgende individuellen Unterschiede:

$B = 1{,}00$, $P = 1{,}26$, $C = 0{,}94$, $S = 1{,}07$ $F = 0{,}74$.

Um aber auch eine grössere Zahl von Märschen in Bezug auf diesen Punkt vergleichen zu können, wollen wir für jeden der 4 übrigen Herren die reelle Gewichtsabnahme aller Märsche, in welchen er mit Herrn B. zusammen marschierte, mitteln und auf die des Herrn B. als Einheit beziehen. Wir fügen neben jeden Namen die Zahl der verwertheten Versuche:

$B = 1{,}00$, $P_{16} = 1{,}12$, $C_{11} = 0{,}99$, $S_{17} = 1{,}09$, $F_{15} = 1{,}00$.

Man sieht deutlich, dass mit der Zahl der in Vergleich gestellten Fälle die Unterschiede abnehmen und dadurch wird es wahrscheinlich, dass diese Unterschiede nicht auf fixirten Eigenschaften der Individuen beruhen, sondern vorübergehender Natur sind. Es sei daran erinnert, dass bei jedem Menschen psychische Momente, vorübergehende Indispositionen, die Neigung zum Schwitzen stark beeinflussen, dass ferner überschüssige Flüssigkeitsaufnahme fördernd auf die Schweissbildung wirkt. Wir wollen noch, um die Schwankungen besser übersehen zu können, für jeden der Herren das Maximum und Minimum der reellen Gewichtsabnahme und die zugehörigen physiologischen Verdunstungsquotienten aufführen, sowie ferner die Maxima und Minima der letzteren, welche meist nicht mit denen der reellen Gewichtsabnahme zusammenfallen. Die wahrscheinlich falsche Zahl im Marsch 9 lassen wir unberücksichtigt. Neben jede Zahl ist in Klammer die Marschnummer gesetzt.

Tabelle 35.

	Reelle Gewichtsabnahme		Physiolog. Verdunstungscoefficient	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
B.	2115 (20)	770 (8)	8,18 (20) 11,82 (10)	2,19 (8)
P.	2924 (25)	928 (28)	4,36 (25) 8,77 (20)	4,36 (25) 1,79 (21)
C.	2575 (23 u. 27)	745 (16 u. 26)	6,88 (27)	1,46 (26)
S.	2560 (26)	890 (11)	4,39 (26) 8,96 (9)	2,56 (8)
F.	2220 (26)	240 (7)	4,34 (26) 14,00 (10)	0,87 (24)

Die in dieser Zusammenstellung hervortretenden grossen Unterschiede zwischen der Verdunstung des lebenden Körpers und der leblosen feuchten Oberfläche sind in erster Linie bedingt durch den bestimmenden Einfluss der verschieden grossen Muskelarbeit auf die Erwärmung des Körpers und damit auf die Schweisssecretion. Eine zweite Reihe von Unterschieden bedingen die meteorologischen Factoren durch ihren Einfluss auf die Wärmeabgabe des Körpers durch Strahlung und Leitung. Auch hierdurch wird die Thätigkeit der Schweissdrüsen beeinflusst und so Unterschiede zwischen der Verdunstung des lebenden Körpers und der feuchten Oberfläche zu Wege gebracht. Die Erwärmung des Körpers durch Muskelarbeit ist zahlenmässig bestimmt durch unsere Messungen der Energiecntwickelung auf dem Marsche. Die ganze während des Marsches auf ebenem Terrain aufgewendete Energie wird ja, da äussere Arbeit im Sinne der Mechanik nicht geleistet wird, im Innern des Körpers durch Reibung und Muskelspannung in Wärme umgewandelt. Man kann deshalb die Frage aufstellen, wie gestaltet sich die Wasserverdunstung auf dem Marsche bezogen auf die Einheit der Wärmeproduction des Körpers. Lässt sich ein gesetzmässiger Einfluss der meteorologischen Momente auf die dieser Einheit entsprechende Wasserverdunstung darthun?

Bei Beantwortung dieser Fragen, mit welcher sich Herr Nehring unter unserer Leitung in seiner citirten Dissertation beschäftigt hat, hielt er sich zunächst an die beiden Herren B. und P., bei welchen die Wärmeproduction einerseits, die wirkliche Wasserverdunstung aus der Perspiratio insensibilis andererseits auf Grund der Respirationsversuche ohne Weiteres berechnet werden kann. Die Respirationsversuche geben uns hier zugleich die Möglichkeit in der S. 203 erläuterten Weise den Antheil der Haut und der Lungen an der Verdampfung des Körpers gesondert zu ermitteln. Das ist aber deshalb wichtig, weil diese beiden Verdampfungsstätten eine verschiedene Bedeutung in Bezug auf die kühlende Wirkung des verdampfenden Wassers besitzen. Was in den Luftwegen verdampft, bedeutet einen der Dampfbildung genau entsprechenden Wärmeverlust dieser reichlich von Blut durchströmten Oberflächen und damit des Blutes selbst. Das von der Haut secernirte Wasser verdampft aber zum Theil, wie schon erwähnt, in den äusseren Schichten der Kleidung und hier wird die Verdampfungswärme nur zum Theil vom Körper geliefert, zum Theil wird sie der an der Oberfläche und in den äusseren Schichten der Kleidung vorbeiströmenden Luft entnommen, kühlt also nicht den Körper, sondern diese mit der Haut gar nicht direct in Berührung kommenden Luftmassen ab. Das von der Haut secernirte Wasser wird also in dem Maasse, wie es die Kleider stärker durchnässt, unvollkommener für die Abkühlung des Körpers ausgenützt. Auch dieser Umstand gestaltet die Beziehungen zwischen der Menge des verdampfenden Wassers und der Wärmeproduction des Körpers complicirter.

In den folgenden Tabellen 36 und 37 sind nun die Ergebnisse der Berechnung der Wärmeproduction auf dem Marsche aus den Respirationsversuchen in Stab 13—15 aufgeführt. Diese Berechnungen aus dem Jahre 1896 haben bei der späteren Revision einige Correcturen erfahren, theils weil damals der Einfluss der Geschwindigkeit auf den Marschverbrauch uns noch nicht bekannt war, theils weil der gesteigerte Verbrauch des Herrn B. bei Marsch 23 und 25 in Folge der Sehnenentzündung ausser Acht geblieben und der Durchschnitt aller Märsche mit schwerem Gepäck zur Berechnung dieser Versuche benutzt worden war. Die corrigirten Werthe sind in Col. 16 aufgeführt. Die Gewichtszunahme des Körpers durch aufgenommenen Sauerstoff, welcher

Tabelle 36. Wasserverdunstung

Marsch-Nummer	Datum und Belastungskategorie	Länge des Marsches in km	Reelle Gewichtsabnahme in g	Gewichtsverlust durch ausg. C., aus der CO_2 berechnet in g	Gewichtszunahme durch aufgen. O_2 in g	Wasserverlust des Körpers in toto in g	Wassermenge in den Kleidern in g
1	2	3	4	5	6	7	8
10	23. Mai II	24,027	1092	165	98		
11	28. „ II	22,577	1785	149	89		
12	29. „ II	23,800	1505	160	95		
13	30. „ II	25,908	1885	175	104		
14	2. Juni II	27.597	1415	189	113		
15	6. Juni III	23,535	1840	167	99		
18	13. „ III	27,473	2295	203	121		
19	16. „ II	27,552	1140	184	110		
20	19. „ III	27,065	2384	196	116		
23	26. „ III	26,735	2225	196	117	2726	580
24	27. „ III	26,967	1976	194	115	2436	538
25	28. „ III	26,872	2924	196	117	3184	335
26	3. Juli. I	26,047	2850	159	100	3366	575
27	4. „ I	27,184	1575	167	100	2502	995
28	5. „ I	27,120	1693	170	106	2441	812

nicht wieder in der Kohlensäure ausgeschieden wird und der Verlust durch gasförmig als CO_2 ausgeschiedenen Kohlenstoff sind in 5 und 6 aus den Respirationsversuchen und der Länge des Marsches (3) berechnet. Ihre Differenz von der reellen Gewichtsabnahme (4) abgezogen, ergiebt die verdampfte Wassermenge (9). Der Antheil der Athmung an derselben (10) wird in der S. 202 dargelegten Weise berechnet und von der ganzen verdampften Wassermenge abgezogen. So finden wir die von der Haut verdampfte Wassermenge (11).

Bei 37° C. beträgt die Verdampfungswärme von 1 g Wasser 580,8 cal. Durch Multiplication der in Betracht kommenden Wassermengen (9) mit dieser Zahl ergeben sich die calorischen Werthe in Col. 12.

Bei dem complicirten Zusammenwirken der einzelnen Factoren in Bestimmung der Wasserverdunstung des Körpers, erschien es am Ehesten möglich Aufschluss über den Antheil

und Wärmeproduction bei Herrn P.

Verdampfte Wassermenge			Calorischer Werth des verdampften Wassers	Wärmemenge			
in toto in g	von den Lungen in g	von der Haut in g	in Cal.	producirt auf dem Marsche in Cal.	prod. in der Ruhe, ber. f. d. Dauer des Marsches in Cal.	die auf dem Marsche prod. ist, übersteigt die Prod. in der Ruhe um Cal.	Nachträglich corrigirte Werthe für die Marscharbeit Cal.
9	10	11	12	13	14	15	16
1026	206	820	596	1725	358	1367	
1725	198	1527	1002	1588	343	1245	
1440	205	1235	837	1686	351	1335	
1814	227	1587	1054	1836	384	1452	
1339	263	1076	778	1977	424	1553	
1772	211	1561	1029	1786	351	1435	
2213	252	1961	1285	2104	394	1710	
1066	233	833	619	2029	392	1637	
2305	233	2072	1339	2064	404	1660	
2146	269	1877	1246	2078	395	1684	1722
1898	236	1662	1102	2065	401	1664	1700
2845	285	2560	1652	2040	426	1613	1643
2791	169	2622	1619	1711	364	1346	1376
1508	197	1311	876	1775	403	1372	1405
1629	220	1409	945	1749	419	1330	1359

jedes Einzelnen zu gewinnen, wenn man seinen in den einzelnen Versuchen durch die Mannigfaltigkeit von Nebenwirkungen und die Ungenauigkeiten der Beobachtung der Perspirat. insensib. verdunkelten Einfluss im Durchschnitt aller Versuche rechnerisch festzustellen suchte. Zu diesem Behufe musste für jeden Versuch eine Gleichung mit soviel Unbekannten aufgestellt werden, wie variable aber ihrer Grösse nach bestimmbare Factoren das Resultat beinflussen. Bei der geringen Genauigkeit der Grundlagen der Rechnung hätte es wenig Sinn gehabt, complicirte mathematische Beziehungen der einzelnen Unbekannten zum Resultat aufzusuchen. Wir haben desshalb die Gleichungen unter der Annahme aufgestellt, dass die einzelnen Unbekannten sich einfach ihrer durch einen Coefficienten ausgedrückten Grösse entsprechend additiv an dem Resultat betheiligen. Dabei gingen wir ferner von der nach dem schon Gesagten unzweifelhaft rich-

Tabelle 37. Wasserverdunstung

Marsch-Nummer	Datum und Belastungskategorie	Länge des Marsches in km	Reelle Gewichtsabnahme in g	Gewichtsverlust durch ausg. C., aus der CO_2 berechnet in g	Gewichtszunahme durch aufgen. O in g	Wasserverlust des Körpers in toto in g	Wassermenge in den Kleidern in g
1	2	3	4	5	6	7	8
10	23. Mai II	24,493	1655	151	85		
11	28. „ II	22,979	1680	137	78		
13	30. „ II	27,149	1175	167	94		
14	1. Juni II	24,398	885	149	84		
16	8. Juni III	22,252	1570	134	88		
18	13. „ III	27,237	1205	168	110		
19	16. „ II	27,986	1580	166	94		
20	19. „ III	27,539	2115	169	111		
21	20. „ II	27,536	1465	166	94		
23	26. „ III	23,217	1565	167	109	1882	375
25	28. „ III	26,917	1865	168	110	2157	350
26	3. Juli I	26,248	1845	163	97	2129	350
28	5. „ I	28,253	1900	178	106	2248	420

tigen Annahme aus, dass die Grösse der Wärmeproduction in erster Linie die Schweisssecretion bestimmt, dass wir daher gut thun, alle Zahlen zunächst auf dieselbe Wärmeproduction (1000 Calorien) umzurechnen. Es ist anzunehmen, dass unter Normalbedingungen der Temperatur und der andern meteorologischen Factoren dieser Wärmeentwicklung im Körper eine constante Wasserverdampfung entspricht. Diese Unbekannte bezeichnen wir in den Beobachtungsgleichungen mit C. Daneben führten wir noch folgende bedeutungsvolle meteorologische Momente, deren Grösse bekannt war, in die Gleichung ein:

1. Die Lufttemperatur (x), wobei wir die Temperatur von + 10° C. als Nullwerth nahmen.

2. Die relative Trockenheit (y), welche wir nach Rubner's Vorschlag an Stelle der in den meteorologischen Berichten gewöhnlich angegeben relativen Feuchtigkeit setzten. Es ist die Zahl, welche die in Procenten ausgedrückte relative Feuchtigkeit zu 100 ergänzt. Bei Wasserdampfsättigung besteht

und Wärmeproduction bei Herrn B.

Verdampfte Wassermenge			Calorischer Werth des verdampften Wassers	Wärmemenge			
in toto	von den Lungen	von der Haut		producirt auf dem Marsche	prod. in der Ruhe, ber. f. d. Dauer des Marsches	die auf dem Marsche prod. ist, übersteigt die Prod. in der Ruhe	Nachträglich corrigirte Werthe für die Marscharbeit
in g	in g	in g	in Cal.	in Cal.	in Cal.	um Cal.	Cal.
9	10	11	12	13	14	15	16
1589	214	1375	923	1639	330	1309	
1621	196	1425	941	1506	315	1191	
1102	236	866	640	1821	362	1459	
820	236	584	477	1620	391	1229	
1524	176	1348	885	1498	298	1199	
1147	227	920	666	1815	354	1461	
1508	239	1269	876	1811	360	1451	
2057	271	1786	1195	1859	372		
1393	273	1120	809	1795	362	1432	
1507	265	1242	875	1837	356	1480	1522
1807	285	1522	1048	1839	385	1454	1718
1779	218	1561	1033	1806	332	1474	1508
1828	256	1572	1060	1936	387	1549	1568

also 0 pCt. relative Trockenheit und die Grösse der relativen Trockenheit geht der Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf proportional.

3. Die Luftbewegung (z), zu deren Abschätzung wir die Werthe der 10 theiligen Windskala noch in 10 Unterabtheilungen theilten; hier ist absolute Windstille = 0.

4. Die Besonnung (s); inbetreff der Art und Weise, wie wir diese in Rechnung stellten, sei Folgendes bemerkt. Aus der grossen Abhandlung von Crova: Etude de l'intensité calorifique de la radiation solaire au moyen de l'actinomètre enregistreur[1]) entnehmen wir der Kurve der Sonnenbestrahlung (S. 544), dass der Werth der Wärmestrahlung ist:

$^1/_2$ Std. n. Sonnenaufg. = 0,33 cal. (Sonnenafg. 4 Uhr 31 Min.
$1^1/_2$ „ „ „ = 0,8 „
$2^1/_4$ „ „ „ = 1,0 „ (um $6^3/_4$ Uhr.)

[1]) Crova. Ann. d. chimie et de physique. (6) 14. 1888. p. 541.

Dann schwankt der Werth bis 2 Uhr Nachmittags um 1,1 cal.

Da also die Energie der Sonnenbestrahlung von der zweiten Stunde nach dem Aufgang ab nicht mehr erheblich zunimmt, kommt für die späteren Marschstunden nur die mehr senkrechte Incidenz, also die verminderte Schattenwirkung in Betracht. Es ist deshalb die Besonnung während des ganzen Marsches durch den Index 6, während der ersten Hälfte durch 2, während der zweiten Hälfte durch 4 bezeichnet; hierbei kommt in Betracht, dass, wenn die letzten 3 Kilometer sonnig waren, noch + 1 hinzugerechnet wurde, da während der letzten drei Kilometer wegen der Schattenlosigkeit des Weges die Besonnung besonders schwer empfunden wurde.

Aus den Daten eines jeden Versuchs wurde nun eine Gleichung gebildet, in welche die genannte Constante und die Wirkung der vier meteorologischen Variabeln auf die Wasserverdampfung als Unbekannte eingingen, deren Summe gleich der auf 1000 Calorien Wärmeproduction erfolgten Wasserverdunstung gesetzt wurde.

Für jeden der beiden Herren konnten also so viele Beobachtungsgleichungen aufgestellt werden, als er Märsche ausgeführt hatte, bei welchen alle in Betracht kommenden Factoren aufgezeichnet waren. Es waren 16 für Herrn P. und 13 für Herrn B. Die Resultate der Rechnung, deren Einzelheiten in der Dissertation des Herrn Nehring nachgesehen werden können, fielen für beide Herren recht verschieden aus. Auch ergaben sich beim Vergleich der durch Einsetzen der gefundenen Werthe in die Beobachtungsgleichungen berechneten Wasserverdampfung für die einzelnen Tage erhebliche Abweichungen von der gefundenen. Beim Suchen nach den Ursachen dieses unbefriedigenden Ergebnisses wurde unsere Aufmerksamkeit auf folgende 3 Momente gelenkt:

1. Gewinnen wir den Eindruck, dass die Wasserverdunstung für eine bestimmte Arbeit unter gleichen meteorologischen Verhältnissen in den früheren Märschen eine grössere war als in den späteren. Die berechneten Werthe waren bei den ersten Märschen immer kleiner als die gefundenen, in den späteren meist grösser. Dies spricht dafür, dass bei fortschreitender Trainirung die Schweissecretion unter sonst gleichen Bedingungen geringer wird.

2. Es scheint, dass die schwerere Belastung die Schweiss-

sekretion in stärkerem Maasse steigert als sie die Wärmeproduction erhöht, so dass die auf 1000 Calorien entfallende Wärmeproduction mit der Belastung wächst. Dieser Wahrscheinlichkeit konnte dadurch Rechnung getragen werden, dass man in die Gleichungen eine sechste Unbekannte p einführte, welche den Zuwachs der Wasserverdunstung für 1 kg Zuwachs der Belastung bedeutet. Die Belastung mit 20 kg wurde dabei als Nullwerth genommen, so dass z. B. 10 p in die Gleichung eingesetzt wird, wenn die Belastung 30 kg beträgt.

3. Es können nicht ganz geringe Fehler in der Bestimmung der Wasserverdunstung eines einzelnen Tages dadurch entstehen, dass die unterwegs aufgenommenen Speisen und Getränke nur geschätzt wurden. Diese Fehler werden sehr viel kleiner werden, wenn wir statt mit dem Gewichtsverluste eines einzelnen Marschirenden mit der Summe der Verluste aller an dem betreffenden Marsche betheiligten Herren rechnen.

Da nur von den Herren B. und P. Respirationsversuche vorliegen, welche die Grundlage zur Berechnung, sowohl der wirklichen Wasserverdunstung als auch der Wärmeproduction liefern, wurde die durchschnittliche Wasserverdunstung aller Marschirenden unter der Annahme berechnet, dass sie bei allen Herren zusammen in demselben Verhältniss zum Gewichtsverlust stehe, wie bei den Herren B. und P. Ebenso wurde die Wärmeproduction dadurch aus dem Mittel der bei B. und P. gefundenen Grössen berechnet, dass man annahm, sie sei dem Producte aus Weglänge und befördertem Gewichte proportional. Auf diese Weise konnten 14 Gleichungen aufgestellt werden, welchen die eben besprochenen Unsicherheiten nur noch in geringem Maasse anhaften. Sie sind in nachstehender Tabelle 38 zusammengestellt.

Die Auflösung der aus diesen Gleichungen in üblicher Weise abgeleiteten 6 Normalgleichungen für die 6 Unbekannten ergab folgende Wahrscheinlichkeitswerthe derselben:

Die Constante C d. h. die Anzahl Gramme Wasser, welche auf 1000 Calorien Wärmeproduction verdunsten, wenn alle anderen Factoren den Werth Null haben, ist . . . . . = 799.

Der Zuwachs der Wasserverdampfung für je 1° C. Temperaturzunahme über 10° . . . . . = x = 38.

Tabelle 38.

Zur Berechnung des Einflusses der meteorologischen Verhältnisse und der Belastung auf die Wasserverdunstung pro 1000 Calorien.

Marsch-Nummer	Datum	X. Temperatur	Y. Rel. Trockenheit	Z. Windstärke	Z. Besonnung	P. Last	Wasserverdunstung pro 1000 Calorien gefunden	Wasserverdunstung pro 1000 Calorien berechnet	Abweichung des berechnet. Werthes +	Abweichung des berechnet. Werthes —
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	23. Mai	—0,5	12	25	0	7,5	771	635.5		135,5
11	28. „	3,3	37	15	2	7,0	768	738.7		99.3
12	29. „	3,1	41	15	3	7,0	827	713,9		113.1
13	30. „	3,8	40	15	6	7,0	813	741,2		71.8
15	6. Juni	7,8	40	0	4	11,3	926	1043.9	117.9	
16	8. „	2,7	10	35	0	11,3	759	734.5		24.5
18	13. „	3,0	24	35	0	11,0	680	685,4	5,4	
19	16. „	4,5	30	26	2,5	7,0	654	735,4	81,4	
21	20. „	4,6	41	30	6	7,2	530	664.6	134,6	
24	27. „	5,8	41	20	4	11,0	694	821.7	127,7	
25	28. „	8,5	49	16	5	11,0	1067	917,6		149,4
26	3. Juli	16,4	46	0	6	2,2	1378	1245.4		132,6
27	4. „	7,3	23	5	2	2,3	927	967,0	40.0	
28	5. „	8,1	33	5	2	2,0	804	953.0	149.0	
		78,40	467,00	242,00	42,50	104,80	11598,00		656.0	656.2

Der Zuwachs für je 1 pCt. Zunahme der relativen Trockenheit . . . . . = y = — 4

Der Zuwachs für die Einheit der Luftbewegung (vgl. S. 325) . . . . . = z = — 7

Der Zuwachs für die oben S 325 definirte Einheit der Sonnenbestrahlung . . . . . = s = — 1

Der Zuwachs fü 1 kg Belastung . . . . . = p = 10

Die Richtigkeit vorstehender Zahlen haben wir dadurch geprüft, dass wir sie in jede Gleichung einsetzten und den so berechneten Werth der Wasserverdampfung für 1000 Calorien in Col. 9 neben den gefundenen setzten. Die Abweichungen und ihre Richtung sind in Col. 10 und 11 ersichtlich gemacht. Sie erscheinen nicht grösser als man bei der geringen Zahl der Beobachtungen und bei der Beschränkung auf die erste Potenz der Unbekannten d. h. bei der

gewiss nicht ganz richtigen Annahme, dass die Aenderung gradlinig mit der Grösse des betreffenden Factors erfolge, erwarten konnte. Auch hier macht sich die vorher schon besprochene Erscheinung geltend, dass in den ersten 4 untersuchten Märschen die wirkliche Wasserverdunstung grösser war als die berechnete. Wir finden also den vorher aufgestellten Satz bestätigt, dass die Grösse der Schweisssecretion mit fortschreitender Uebung abnimmt und dass die sich hierin ausprägende Abnahme der Erregbarkeit der schweissabsondernden Apparate nach 10 Uebungsmärschen noch nicht vollendet ist. Wenn wir uns erinnern, dass eine starke Durchnässung der Kleiderschichten den Nutzen der Verdampfung für die Abkühlung des Körpers beeinträchtigt, wenn wir ferner in Betracht ziehen, dass die Wasserverluste auf langen, anstrengenden Märschen so bedeutend sind, dass eine Eindickung des Blutes regelmässig erfolgt, werden wir den Vortheil dieser mit fortschreitender Uebung eintretenden Beschränkung des Schwitzens auf das zur Abkühlung ausreichende Minimum voll würdigen.

Ausser den oben erörterten ersten Märschen zeigen noch No. 25 und 26 eine die berechnete erheblich übertreffende Wasserverdunstung. No. 25 ist der letzte von drei hintereinander ausgeführten Märschen mit schwerem Gepäck. Wir hatten schon beim Studium der Athmung gesehen, das die Erschöpfung sich an diesem Tage durch einen höheren Verbrauch für die Wegeinheit geltend machte. Da wir nun die Wärmeproduction an diesem Tage nach dem Mittel aller Märsche mit schwerem Gepäck (Tab P_5 und B_8 S. 250) berechnet haben, war sie factisch grösser, und dementsprechend die Wasserverdunstung pro 1000 Calorien kleiner als wir sie eingesetzt hatten. Das erklärt einen Theil der Abweichung; es ist aber wahrscheinlich, dass die Erschöpfung des Nervensystems, ebenso wie sie das zweckmässige und ökonomische Fungiren der Bewegungsmuskeln beeinträchtigte, so auch eine weniger genaue Anpassung der Schweisssecretion an das Bedürfniss und damit überschüssiges Schwitzen verschuldete. Auch bei No. 12 und 13 kann die zu hohe Wasserverdunstung wohl zum Theil darauf bezogen werden, dass sie der 2. bezw. 3. von drei aufeinander folgenden Märschen sind. Bei Marsch 26 hat die tropische Hitze, wie manche andere Besonderheiten, so auch das Steigen der Wasserverdampfung über den berechneten Werth zu verant-

worten. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Curve der Einwirkung der äusseren Temperatur auf die Wasserverdunstung bei einer gewissen Höhe derselben steiler anzusteigen beginnt. Das lässt sich natürlich exact nur durch eine grössere Anzahl Versuche bei so hohen Temperaturen feststellen.

Gehen wir jetzt noch auf die einzelnen Glieder unserer im Ganzen durch vorstehende Betrachtungen als richtig erkannten Gleichungen ein, so würde das negative Vorzeichen von z leicht zu verstehen sein. Stärkerer Wind befördert zwar die Verdunstung des einmal secernirten Wassers aber gerade durch die schnellere Verdunstung, und durch den energischen Luftwechsel in den verschiedenen Schichten der Kleidung, welche bewirkt, dass die Verdunstung mehr auf die innersten der Haut angrenzenden Kleiderschichten und auf die Hautoberfläche selbst verlegt wird, hat er zur Folge, dass eine kleinere Schweissmenge zur Abkühlung ausreicht und dass daher die Thätigkeit der Schweissdrüsen nachlässt. In gleichem Sinne wirkt die Ableitung von Wärme durch die grösseren Mengen kühlerer Luft, welche mit dem Körper in Berührung kommen.

Die Minderung der Verdunstung durch zunehmende Trockenheit der Luft beruht auch darauf, dass sie die abkühlende Wirkung der Verdunstung dem Körper mehr zu Gute kommen lässt und dadurch die Schweisssecretion beschränkt. Bei trockener Luft sind auch die Luftmassen in den Kleidern aufnahmefähiger für Wasserdampf, die Verdunstung des abgesonderten Schweisses erfolgt prompter, schon in den innersten Schichten der Kleidung, und kühlt darum den Körper viel energischer. Sobald aber die Luft nahezu mit Wasserdampf gesättigt ist (Schwüle), wird diese Sättigung, besonders bei hoher Lufttemperatur und dadurch bedingter geringer Wärmedifferenz zwischen Kleiderluft und Aussenluft, im Innern der Kleider bald eine absolute. Die Verdampfung in den inneren Schichten hört fast ganz auf, die Körpertemperatur steigt und veranlasst eine immer profusere Thätigkeit der Schweissdrüsen. Bald sind die Unterkleider nicht nur, sondern auch die Uniform durchnässt und nun genügt die Luftbewegung durch das Marschiren bezw. der im Freien nie ganz fehlende Wind, um eine starke Wasserverdampfung der Kleider zu bewirken. Man kann nämlich leicht nachweisen, dass selbst bei 98 pCt. Dampfsättigung der Luft noch mehrere 1000 g Wasser während

eines 5stündigen Marsches verdampfen können, falls dies Wasser sich auf der Oberfläche der Kleider befindet. (Vergl. die Berechnung bei Nehring S. 32.)

Der Factor — 1 für die Sonnenwirkung ist so klein, dass er eigentlich besagt, es sei auf unseren Märschen keine Wirkung der Besonnung auf die Schweissverdunstung nachweisbar gewesen; das erklärt sich daraus, dass der grössere Theil des Weges durch Wald führte oder doch durch Bäume beschattet war. Directe Sonnenstrahlung mit ihrer mächtigen Heizwirkung auf die dunkle Uniform traf unsere Marschirenden eigentlich nur während der letzten 3 km des Rückmarsches. Im Schatten aber wirkt die Sonne kaum erhitzend, hier wird sich vielmehr indirect der Umstand günstig bemerkbar machen, dass die Luft trockener ist als bei bewölktem Himmel und dass locale, durch den Gegensatz von Sonne und Schatten bedingte Luftströmungen, welche sich zu dem von der meteorologischen Station gemessenen Wind hinzugesellen, abkühlend wirken. — Unsere Märsche sind daher nicht geeignet, über die Bedeutung der Besonnung für die Schweissbildung Aufschluss zu geben. Es kann aber keinem Zweifel unterliegen, dass sie, ungeschwächt wirkend, die Absonderung und Verdampfung des Schweisses mächtig steigern wird.

Dass die Belastung nicht nur die absolute Menge des Schweisses, sondern auch die auf 1000 Calorien Wärmeproduction entfallende Menge desselben steigert, ist leicht zu verstehen. Dieselbe Menge Wärme wird beim Marsch mit schwererem Gepäck in kürzerer Zeit gebildet. Da nun in der Zeiteinheit nur eine bestimmte Menge von Wärme durch Leitung und Strahlung abgegeben wird, muss der auf 1000 Calorien Wärmeproduction entfallende Antheil der Verdunstung wachsen. Möglicher Weise trägt aber auch das Unbehagen, welches die schwerere Belastung bedingt, insbesondere die Behinderung des Athmens dazu bei, dass die Schweissabsonderung eine stärkere wird. —

Wir wissen sehr wohl, dass unsere Ergebnisse in Bezug auf die Wärmeregulation des marschirenden Soldaten nur mangelhafte sind und dass sie nur in groben Zügen das Ineinanderspielen der hier wirksamen meteorologischen und physiologischen Momente klargelegt haben. Soviel aber hoffen

wir durch unsere Versuche erreicht zu haben, dass künftigen Erforschern dieser so wichtigen Seite der Physiologie des Marsches Wege gebahnt sind, auf welchen viele in Betracht kommende Fragen sicher gelöst werden können. Man wird den so wichtigen Einfluss der Trainirung auf die Beschränkung des übermässigen Schwitzens leicht genauer verfolgen können, wenn man Recruten und ausgebildete Mannschaften gleichzeitig dieselbe Marschleistung ausführen lässt und bei beiden Gruppen den reellen Gewichtsverlust und die Vermehrung des Kleidergewichts sowie die Erhöhung der Körpertemperatur feststellt. In ähnlicher Weise lässt sich, wenn man Mannschaften gleicher Ausbildung verwendet und bei ihnen zunächst die individuellen Eigenthümlichkeiten der Schweisssecretion und der Verdunstung durch einige Märsche feststellt, nachher ermitteln, wie sich die Hautfunction bei verschiedenartiger Bekleidung, bei den verschiedenen vorgeschlagenen Modificationen des Unterzeugs gestaltet. Es wird ferner leicht sein, in Versuchen dieser Art den Einfluss der Ernährungsweise, des Verdauungszustandes, der reichlichen Wasserzufuhr, alcoholischer und alkaloidhaltiger (Thee, Kaffee) Getränke auf die Schweisssecretion und Wärmeregulation klarzustellen. Weiterhin bleibt es eine lohnende Aufgabe, die Einwirkung der verschiedenen Arten der Hautpflege, warmer und kalter Bäder, reichlicher Anwendung von Seife, kalter Douchen, Abreibungen, auf die Schweisssecretion und ihre Anpassung an die Wärmeregulation zu erforschen. —

Die Studien über Wärmeleitung, Luftdurchlässigkeit, Wasserbindungsvermögen der Kleider, wie sie Pettenkofer inaugurirt hat, wie sie dann vor Allen Rubner fein ausgebildet hat, an denen sich ja auch der eine von uns (Schumburg) betheiligt hat, sind ja sicherlich die exacte Grundlage jeder Bekleidungshygiene. Wir glauben aber gezeigt zu haben, dass sich am lebenden arbeitenden Menschen die Verhältnisse so complicirt gestalten, dass der physiologische Versuch, wie wir ihn hier durchgeführt haben, daneben unentbehrlich bleiben wird.

Wir haben gezeigt, wie wichtig es ist, das Eindringen des Schweisses in die Oberkleidung zu verhüten, und dass das wirksame Mittel dazu reichlicher Luftzutritt zu den Unterkleidern und zur Haut ist. Die Uniform, so vortrefflich sie bei kühlerer Witterung allen Anforderungen entspricht, kann für angestrengte Marschleistungen im Sommer nicht als zweck-

mässig anerkannt werden. Hier würde eine leichte poröse Kleidung nicht nur die Marschfähigkeit ausserordentlich erhöhen, sie würde auch, weil am Schlusse des Marsches das Unterzeug weniger durchnässt wäre, die Gefahr der Erkältung mindern. Im Ernstfalle, wenn ästhetische Rücksichten dem Bedürfnisse höchster Marschleistung gegenüber nicht in Betracht kämen, wäre es sicher empfehlenswerth, den Waffenrock und die Wollhose im Tornister zu tragen, um sie nach dem Einrücken ins Quartier wenn nöthig anzulegen, den Marsch selbst aber im Drillichanzuge bezw. in der Litewka auszuführen. — Wenn daneben für möglichste Erleichterung des Gepäcks gesorgt würde, wären sehr grosse Märsche selbst in Sommerhitze ohne Gefahr durchführbar. —

Schluss.

Wir sind am Schluss unserer Betrachtungen angelangt. Eine Reihe nicht unwichtiger Thatsachen sind als Ergebnisse der einzelnen Untersuchungsreihen bei diesen aufgeführt, Thatsachen, die der Officier, wie der Truppenarzt, die auch nicht zum mindesten der Physiologe bei seiner Weiterarbeit gern benutzen wird.

Aber weit zahlreicher als diese sicher gestellten Ergebnisse unserer Arbeit sind die Ausblicke auf erstrebenswerthe Ziele, die sich uns in den einzelnen Capiteln eröffneten und die dringend auffordern, auf dem beschrittenen Wege weiter zu streben.

Nicht nur das wohlausgerüstete Laboratorium, auch der Truppenarzt ist in der Lage, die Einzelheiten unserer Versuche, namentlich des ersten Theils, auf nunmehr geschaffener Grundlage weiter auszubauen. Nicht alle Aufgaben auf ein Mal zu lösen gilt es, denn das erzeugt Zersplitterung der Kräfte, vielmehr sind einzelne Functionen zur Bearbeitung herauszugreifen und diese sind an Hunderten von Soldaten, in Tausenden von Einzeluntersuchungen nach allen von uns angedeuteten Richtungen zu studiren, unter den verschiedensten Belastungen, bei jedem Dienstzweig, bei gutem und schlechtem, heissem und kühlem Wetter, in ebenem und hügeligem Gelände, im Drillichanzug und im Waffenrock.

Besonders gute Aufschlüsse würden zu erwarten sein

durch die Temperaturmessung und durch die Beobachtung der Respiration; in Sonderheit wäre die Schnelligkeit der Rückkehr von Puls und Athmung zur Norm genauer zu studiren. Weiterhin wäre das Studium der Vitalcapacität zu empfehlen, ebenso dasjenige des Harnes, insbesondere der Häufigkeit und der Ursache des Auftretens von Eiweiss im Urin, ferner die Zählung der Blutkörperchen und die Bestimmung des specifischen Blutgewichts, wobei namentlich den Ursachen der grossen, durch den Wasserverlust nicht erklärbaren Eindickungen des Blutes nachzugehen wäre. Die Beobachtungen über die Volumänderungen des Herzens und der Leber sollten, wie wir es schon in wenigen Fällen versucht haben, mit Hülfe der Röntgenstrahlen exacter gestaltet und in ihren Beziehungen zu etwaigen Gesundheitsstörungen weiter verfolgt werden. Auch die ergographischen Versuche unter den angegebenen Cautelen und das genauere Studium der psychischen Reactionen verdienen weiter betrieben zu werden.

Genaue Wägungen des Körpers zur Ermittelung des Wasserverlustes und seines Ersatzes würden zur Ergänzung unserer Untersuchungen werthvolles Material herbeischaffen können; wie sich bei solchen Untersuchungen, am vollkommensten aber bei ihrer Combination mit dem quantitativen Studium des Gaswechsels, die Fragen der Bekleidung und Bepackung des Soldaten exact lösen lassen, ist in den betreffenden Capiteln ausführlich von uns dargelegt worden. Wenn man sich entschliessen würde, eine Tretbahn, ähnlich der von uns benutzten, in einem geschlossenen Raume aufzustellen, in welchem sich willkürlich jede Temperatur, jeder Grad von Feuchtigkeit und Bewegung der Luft herstellen liesse, wären alle auf Bekleidung bezüglichen Fragen in der exactesten Weise lösbar.

Die in der Einleitung erwähnte Beobachtung von Démeny, dass je nach der Ermüdung der Zeitraum, wo beide Füsse zugleich den Boden berühren, länger oder kürzer ist, verdient genauer verfolgt zu werden, ebenso wie unsere Beobachtung, dass bei mehreren aufeinander folgenden anstrengenden Märschen das Tempo an den späteren Tagen unbewusst hinter der normalen Geschwindigkeit zurückbleibt.

Ein besonderes Augenmerk erheischt noch immer das Gepäck und die Bekleidung. Als Angelpunkt für die Anbringung des Gepäcks muss die Forderung dienen, dass die Athmung so wenig als möglich behindert werde. Als An-

halt bei dem Studium der Gepäckvertheilung können der Puls, die Herzdämpfung, die Vitalcapacität herangezogen werden. Der Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureausscheidung geben entscheidende Aufschlüsse.

Die Ermittelung des Sauerstoffverbauchs und der Kohlensäure-Ausscheidung muss natürlich dem Laboratorium vorbehalten bleiben. Diese Methode, die uns die präcisesten Resultate geliefert hat, ist geeignet, noch eine grosse Anzahl wichtiger Fragen in exacter Weise zu beantworten. Die Verwendung eines nach Art des Tornisters auf den Rücken zu nehmenden trockenen Gasmessers, welche wir bei unseren Studien im Hochgebirge erprobt haben, gestattet quantitative Messungen des Gaswechsels bei allen Formen der Beanspruchung des Soldaten auf dem Marsche wie beim Exercitium, bei jeder Beschaffenheit des Bodens, zu Fuss wie zu Pferde. Leicht lässt sich so prüfen, ob besondere Arten des Marsches, beispielsweise der von Marey empfohlene und in der französischen Armee viel geübte Beugegang (marche en flexion) wirklich weniger Kraft beanspruchen, als der gewöhnliche Marsch bei gleicher Geschwindigkeit.

Es müsste weiterhin auch mit dieser Untersuchungsmethode das Training der Soldaten genauer studirt werden: Beim jungen Rekruten müsste festgestellt werden, wie gross Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung in der Ruhe, beim langsamen Schritt, beim Parademarsch, beim Stillstehen ist. Nach vollzogener Ausbildung oder auch noch während derselben wird die Untersuchung, vielleicht in 4wöchentlichen Zwischenräumen, wiederholt bis zum Ende der Dienstzeit. Auch wäre es wichtig, wenn eine grössere Zahl Rekruten mit einer grösseren Zahl alter Leute oder Unterofficiere verglichen würde.

Auch von einer recht genauen und gross angelegten Ermittelung des Kostmaasses für den Soldaten versprechen wir uns Erfolg durch einen an vielen Soldaten angestellten Vergleich der Einnahmen mit den Ausgaben.

Nach diesen Ausblicken in die Zukunft dürfen wir wohl die Hoffnung hegen, dass auf dem durch die Anregung und unter der Aegide seiner Excellenz des Herrn Generalstabsarztes der Armee v. Coler begründeten Fundament einer Physiologie des Marsches sich in nicht gar zu langer Zeit ein wissenschaftlich fest gefügter Bau erheben werde.

Generaltabelle I. Respirations-

Marsch-No.	Des Versuchs: Datum 1894	Stunde des Beginns	Dauer in Minuten	Art	Kraftleistung: Weg per Minute m	Steigen per Minute m	zu bewegendes Gewicht kg	Steigarbeit per Minute km
	1	2	3	4	5	6	7	8
	18. April	12 Uhr 36 Min.	9	R				
	21. „	11 „ 42 „	$15^1/_2$	R				
	24. „	12 „ 11 „	5	St	44,98	6,40		
	28. „	12 „ 4 „	10	R				
	1. Mai	11 „ 55 „	9	R				
		12 „ 8 „	10	R				
1	30. April	12 „ 16 „	9	hor.	62,71			
2	2. Mai	7 „ 24 „	$6^1/_2$	„	80,70			
	4. „	10 „ 27 „	9	R				
		10 „ 40 „	9	R				
		10 „ 53 „	$8^1/_2$	R				
3	5. „	6 „ 41 „	$7^1/_2$	hor.	75,22			
		6 „ 54 „	$7^1/_2$	„	77,26			
4	8. „	(12 „ 25 „	$6^3/_4$	hor.	81,52		75,35	
		(12 „ 37 „	$7^1/_2$	„	75,41		„	
5	9. „	6 „ 56 „	$6^1/_2$	„	77.95		74,75	
		7 „ 4 „	$6^1/_2$	„	78,73			
	10. „	9 „ 45 „	8	R				
		9 „ 59 „	9	R				
		10 „ $13^1/_2$ M.	9	R				
6	11. „	6 „ 43 Min.	7		77,00		76,25	
		6 „ 54 „	$7^1/_4$		76,35		„	

Bemerkung zu den Generaltabellen: Es war aus technischen Gründen nicht möglich, die 3 Kategorien, „Ruhe“, „Marschversuch in ausgeruhtem“ und in „ermüdetem“ Zustande durch besonderen Druck in der S. 213 angegebenen Weise zu kennzeichnen. Die Märsche in ermüdetem Zustande sind in Klammern ( ) eingeschlossen.

[1]) Wahrscheinlich Fehler in der Sauerstoffbestimmung, welche sich auf nur eine Analyse stützt.

[2]) Marschirt in Helm mit Seitengewehr und leerer vorderer Patronentasche. Belastung 12,988 kg. Gewicht vorher 71,77, nachher 71,65.

[3]) Leerer Tornister u. Mantel, hintere leere Patronentasche zugefügt. Belastung 17.8

h a n g.

versuche an cand. med. B.

Athmung							
der ausgeathmeten Luft				per Minute		Sauerstoff verbraucht	
Volum per Minute	Sauerstoff-deficit	Kohlensäure-zuwachs	Respirat.-Quot.	Sauerstoff verbraucht	Kohlensäure-bildung	per Meter Weg	per Kilo und Meter
l	pCt.	pCt.				ccm	cbmm
9	10	11	12	13	14	15	16
5,511	4,59	3,59	0,78	232,5	181,7		
6,590	?	3,81	—		231,0		
21,280	6,13	5,39	0,88	1217,1	1070,2	27,06	
4,785	5,045	4,13	0,82	222,6	182,2		
5,144	(4,08)[1]	3,96	(0,97)	(194,2)	188,5		[1]
4,920	5,23	4,04	0,77	237,9	183,9		
15,417	6,20	4,665	0,75	882,6	664,1	14,075	[2]
18,876							[3]
6,061	4,92	4,40	0,89	272,2	243,3		
5,333	5,01	4,07	0,81	240,8	195,7		
5,829	4,73	4,15	0,88	250,9	220,2		
19,167	5,955	4,72	0,79	1048,3	830,5		[4]
20,44	6,13	4,68	0,76	1153,0	880,9	14,14	187,7 [5]
19,00	5,90	4,78	0,81	1033,0	836,4	13,70	181,8 [6]
17,85	5,49	4,80	0,87	927,3	810,1	11,90	159,1 [7]
18,15	5,53	4,89	0,88	945,5	835,6	12,01	160,7 [8]
5,68	4,86	4,11	0,85	254,2	214,9		
15,08	5,15	3,97	0,77	241,3	185,7		
4,96	5,23	4,12	0,81	238,9	192,9		
19,44	5,31	4,60	0,87	953,6	825,6	12,39	162,4 [9]
18,17	5,68	4,88	0,86	953,4	827,7	12,49	163,8 [10]

[4]) Vordere Tasehen gefüllt, Koehgesehirr zugefügt. Bel. = 20,76, vorher 74,00, achher 74,10.

[5]) Zelt zugefügt. Bel. = 22,39 kg.

[6]) Gewehr und Leibriemen auf der Tretbahn abgelegt!

[7]) + hintere Tasche 1500 g und Drilliehhose im Tornister Bel. 24,49.

[8]) Gewehr und Leibriemen auf der Tretbahn abgelegt!

[9]) Auf der Tretbahn Gewehr und Leibriemen abgelegt.

[10]) Belastung unverändert = 24,29 Marseh-Gew., inel. 3,95 kg Gewehr = 85,72.

Marsch-No.	Des Versuchs: Datum 1894	Stunde des Beginns	Dauer in Minuten	Art	Kraftleistung: Weg per Minute m	Steigen per Minute m	zu bewegendes Gewicht kg	Steigarbeit per Minute km
	1	2	3	4	5	6	7	8
6	11. Mai	(11 Uhr 14 Min.	7		74,47		76,25	
		(11 „ 22 „	7		76,17		„	
7	18. „	6 Uhr 47½ Min.	7					
		6 „ 55 „	7					
8	19. „	6 „ 40½ „	8	Hor.	73,095		76,05	
		6 „ 52½ „	7½	„	73,737		„	
		(12 Uhr 2 Min.	8	„	73,47		75,40	
		(12 „ 16 „	8½	„	70,98		„	
		12 „ 51 „	9	R nach d. Marsche u. dem Tretversuch				
		1 „ 6 „	9½					
	21. „	10 „ 23 „	8½	R				
		10 „ 36½ M.	8	„				
		10 „ 51 Min.	8	„				
9	22. „	6 „ 32 „	8½	Hor.	73,00		69,10	
		6 „ 47 „	8½	„	76,02		„	
		7 „ 23 „	7	„	71,71		89,79	
		7 „ 35 „	7	„	74,09		„	
		(12 „ 35½ M.	7½	„	68,08		89,00	
		(12 „ 48 Min.	7	„	76,89		„	
10	23. „	6 „ 55 „	6½	„	69,69		91,22	
		7 „ 6 „	7	„	76,85		„	
		(12 „ 12 „	7½	„	70,42		90,02	
		(12 „ 25½ M.	7	„	74,39		„	
	25. „	10 „ 4 Min.	7¼	R				
		10 „ 15½ M.	8	„				
	26. „	7 „ 22½ „	8	Hor.	74,98		67,95	
		7 „ 38 Min.	9	„	76,38		„	
		8 „ 29 „	6¾	„	77,22		91,01	

[1]) Arbeitendes Gewicht nicht festgestellt, wegen des Regens hat sich das Gewicht der anderen Marschirenden nach dem Marsche nicht geändert, darum auch hier als unverändert angenommen.

[2]) Belastung = 24,49 kg.

[3]) Unruhig.

[4]) Unruhig.

Athmung								
der ausgeathmeten Luft				per Minute		Sauerstoff verbraucht		
Volum per Minute	Sauerstoff-deficit	Kohlen-säure-zuwaehs	Respirat.-Quot.	Sauerstoff verbraucht	Kohlen-säure-bildung	per Meter Weg	per Kilo und Meter	
l	pCt.	pCt.				ccm	cbmm	
9	10	11	12	13	14	15	16	
16,80	5,30	4,31	0,81	831,6	676,3	12,22	146,5)	1)
17,09	5,28	4,37	0,83	841,8	696,8	11,05	145,0)	
16,20								
16,39								
17,72	5,83	4,64	0,80	945,2	751,9	12,93	170,0	2)
18,30	5,455	4,61	0,85	914,2	772,6	12,40	163,0	
16,56	6,305	4,625	0,73	951,5	698,0	12,95	171,8)	
15,79	6,274	4,625	0,74	902,8	669,8	12,27	168,7)	
4,911	5,62	4,115	0,73	252,1	184,6			
4,263	5,58	4,245	0,76	217,1	165,1			
5,271	4,86	3,93	0,81	235,25	189,8			
5,550	4,58	3,89	0,85	232,85	197,3			3)
5,644	4,52	3,87	0,86	233,2	199,4			4)
15,29	5,79	5,085	0,88	813,7	714,5	11,15	161,3	5)
15,265	5,91	5,195	0,88	827,7	727,8	10,89	157,6	5)
18,86	5,52	4,785	0,87	955,9	829,1	13,33	148,5	6)
18,71	5,63	4,635	0,82	967,3	796,9	13,06	145,4	6)
18,03	5,95	4,71	0,79	988,9	782,3	14,52	163,2)	
19,96	5,99	4,715	0,79	1101,6	867,1	14,33	161,0)	
18,92	5,58	4,72	0,85	981,9	830,9	14,09	154,45	7)
21,89	5,67	4,735	0,835	1154,9	963,8	15,03	164,8	
18,97	5,515	4,46	0,81	973,9	787,6	13,83	153,6)	
19,32	5,78	4,43	0,77	1039,5	796,6	13,97	155,2)	
6,21	4,69	4,12	0,88	268,45	236,0			
5,26	4,91	4,075	0,83	243,9	202,3			
16,09	5,27	4,42	0,84	769,8	645,5	10,27	151,1	8)
16,06	5,955	5,13	0,86	866,5	746,5	11,34	167,0	
20,70	5,75	4,94	0,86	1076,4	925,3	13,94	153,2	9)

5) Ohne Gepäck.
6) Mit Gepäek.
7) Mit Gepäck.
8) Exsp. Ventil undieht. Oeffnung verengt, daher Athemnoth; unbelastet.
9) Belastet; Ventil in Ordnung.

Marsch-No.	Des Versuchs: Datum 1894	Stunde des Beginns	Dauer in Minuten	Art	Kraftleistung: Weg per Minute m	Steigen per Minute m	zu bewegendes Gewicht kg	Steigarbeit per Minute km
	1	2	3	4	5	6	7	8
	26. Mai	8 Uhr 41 Min.	7		76,73		91,90	
12	29. „	6 „ 58 „	$7\frac{1}{2}$	R				
		7 „ 18 „	$7\frac{1}{2}$	„				
		7 „ $39\frac{1}{2}$ M.	$6\frac{1}{2}$	„				
13	30. „	6 „ 50 Min.	7	Hor.	75,41		91,10	
		7 „ $2\frac{1}{2}$ „	7	„	76,73		„	
		(12 „ 36 „	$7\frac{1}{2}$		74,27		90,12	
		(12 „ 48 „	$7\frac{1}{4}$		72,425		„	
	1. Juni	9 „ 50 „	8	„	74,75		68,30	
		10 „ $4\frac{1}{2}$ „	8	„	75,74		68,20	
		10 „ $40\frac{1}{2}$ M.	7	„	89,21		68,00	
		10 „ 53 Min.	$7\frac{1}{2}$	„	88,91		67,90	
14	2. „	6 „ 51 „	7	„	76,85		90,01	
		7 „ 3 „	7	„	75,98		„	
		(1 „ 5 „	7		76,85		89,72	
		(1 „ $16\frac{1}{2}$ M.	7		75,98		„	
16	8. „	(11 „ 12 Min.	6		74,09		93,30	
		(11 „ 19 „	6		74,54		„	
17	9. „	7 „ 7 „	7	„	74,35		94,25	
		7 „ 15 „	7	„	76,316		„	
		(12 „ 58 „	6		78,11		93,80	
		(1 „ 5 „	$6\frac{1}{2}$		75,25		„	
	11. „	10 „ 34 „	$8\frac{1}{2}$	„	72,845		67,30	
		10 „ 44 „	8	„	72,395		„	
	12. „	6 „ 57 „	8	„	74,75		93,85	
		7 „ 17 „	7	„	74,09		„	
18	13. „	6 „ 50 „	7	„	73,595		93,40	
		7 „ 3 „	7	„	73,71		„	
		(1 „ 17 „	7	„	72,915		92,70	
	15. „	9 „ 56 „	8	„	72,70		67,05	
19	16. „	7 „ 32 „	7	„	74,09		89,25	
		7 „ $44\frac{1}{2}$ M.	$6\frac{1}{2}$	„	74,91		„	

[1]) Leichte Kleidung (Civil).
[2]) Controlanalysen am alten Apparat ergeben: 5,39 pCt. OA, 4,73 pCt. CO_2.
[3]) Controlanalysen am alten Apparat ergeben: 5,17 pCt. OL, 4,46 pCt. CO_2.
[4]) In leichter Civilkleidung.
[5]) Nüchtern.

Athmung							
der ausgeathmeten Luft				per Minute		Sauerstoff verbraucht	
Volum per Minute	Sauerstoff-deficit	Kohlen-säure-zuwachs	Respirat.-Quot.	Sauerstoff verbraucht	Kohlen-säure-bildung	per Meter Weg	per Kilo und Meter
l	pCt.	pCt.				ccm	cbmm
9	10	11	12	13	14	15	16
20,21	5,725	4,785	0,84	1047,7	875,6	13,65	150,0
6,01	—	4,10					
5,97	4,97	4,28	0,86	272,5	234,5		
6,92	4,225	3,93	0,93	268,0	249,2		
20,54	5,19	4,83	0,93	984,3	915,3	13,05	143,3
20,68	5,29	4,81	0,91	1008,1	916,8	13,14	144,2
18,07	6,275	4,64	0,74	1038,5	767,7	13,98	155,1)
18,38	6,195	4,635	0,75	1042,5	780,0	14,395	159,7)
17,56	5,31	4,69	0,88	847,3	748,65	11,335	166,0 [1]
16,41	5,49	4,71	0,86	819,7	703,7	10,82	158,7
19,25	6,13	4,855	0,79	1080,5	855,8	12,11	178,1
19,13	5,66	4,745	0,84	993,3	832,7	11,17	164,5
19,89	5,80	4,95	0,85	1065,5	909,3	13,86	154,0
19,96	5.64	4,97	0,88	1040,1	916,9	13,69	152,1
19,39	6,28	4,755	0,76	1116,0	845,5	14,52	161,9)
19,21	5,90	4,75	0,81	1039,2	836,8	13,68	152,45)
18,42	5,57	4,52	0.81	945,2	767,3	12,76	136,7)
19,22	5,30	4,41	0,83	937,5	780,1	12,58	134,8)
18,79	5,13	4,395	0,86	901,7	772,1	12,13	128,7 [2]
19,06	5,39	4,655	0,86	958,2	828,1	13,02	138,1 [3]
19,52	6,09	4,47	0,73	1101,0	807,7	14,095	150,3)
19,15	5,38	4,325	0,74	1033,0	766.6	13,73	146,3)
14,59	5,70	4,29	0,75	766,8	576,7	10.53	156,40 [4]
12,81	5,72	4,255	0,74	726,4	540,3	10.03	149,1
18,31	6,22	4,805	0,77	1039,5	803,0	13,91	148,2 [5]
17,86	6,18	4,825	0,78	1004,1	784,4	13,55	144,4 [6]
18,21	6,07	4,66	0,77	1006,35	772,8	13,67	146,4 [7]
18,18	6,14	4,68	0,76	1017,6	775,9	13,81	147,8
19,82	6,05	4,315	0,71	1084,4	773,95	14,87	160,4) [8]
14,71	5.85	4.95	0,85	802,7	678.9	11,04	164,7 [9]
20,71	5,68	4,815	0,88	1082,9	918,1	14,62	163,8
20,77	5,47	4,73	0,86	1046,7	904,4	13,97	156,6

[6]) Nüchtern.
[7]) Nüchtern.
[8]) Wegen schmerzender Füsse nur eine Probe.
[9]) In Civil.

Marsch-No.	Des Versuchs: Datum 1894	Stunde des Beginns	Dauer in Minuten	Art	Kraftleistung: Weg per Minute m	Steigen per Minute m	zu bewegendes Gewicht kg	Steigarbeit per Minute km
	1	2	3	4	5	6	7	8
19	16. Juni	(1 Uhr 20 Min.	7	Hor.	74,20		88,47	
		(1 „ 32 „	7	„	72,09		„	
	18. „	10 „ 1 „	$9^1/_2$	„	70,66		67,80	
		10 „ 30 „	$6^1/_2$	bergauf	71,08	4,633	„	314,1
		10 „ 41 „	$6^1/_2$	„	71,44	4,657	„	315,7
20	19. „	7 „ — „	6	„	72,63	4,735	68,05	322,2
		7 „ 11 „	6	„	70,78	4,614	„	314,0
		(1 „ 1 „	$6^1/_2$	„	70,55	4,599	66,90	307,65
		(1 „ 12 „	6	„	70,12	4,571	„	305,8
21	20. „	6 „ 50 „	6	„	70,78	4,614	68,14	314,4
		7 „ $1^1/_2$ M.	6	„	69,61	4,538	„	309,2
		(12 „ $56^1/_2$ „	$6^1/_2$	„	67,94	4,429	66,52	294,6
		(1 „ $7^1/_2$ „	$6^1/_2$	„	68,795	4,484	„	298,3
22	21. „	7 „ $18^1/_2$ „	$6^1/_2$	„	71,44	4,657	67,25	313,2
		7 „ 29 Min.	6	„	71,00	4,628	„	311,2
		(1 „ 40 „	6	„	70,65	4,605	67,45	310,6
	23. „	10 „ 13 „	7	R				
		10 „ 25 „	8	„				
	25. „	9 „ 1 „	$7^1/_2$	„				
		9 „ 15 „	8	„				
23	26. „	7 „ 38 „	$6^1/_2$	Hor.	73,885		95,20	
		7 „ $49^1/_2$ M.	$6^1/_2$	„	73,48		„	
		(1 „ $45^1/_2$ „	6	„	75,19		93,70	
25	28. „	7 „ $18^1/_2$ „	6	„	74,75		95,14	
		7 „ $28^1/_2$ „	$6^1/_2$	„	74,495		„	
		(1 „ 41 Min.	6	„	74,53		93,50	
	29. „	9 „ 42 „	$6^1/_4$	R				
		9 „ $53^1/_2$ M.	$6^1/_2$	„				
	2. Juli	9 „ 53 Min.	7	„				
		10 „ 23 „	$2^3/_4$	RCO_2				
		10 „ $27^1/_2$ M.	4	„				
		10 „ 38 Min.	$8^3/_4$	R				
26	3. „	(10 „ 50 „	6	Hor.	74,40		86,10	

[1]) In leichtem Civilanzug.
[2]) In Uniform, ganz ohne Gepäck, ohne Helm und Koppel.
[3]) Regen!
[4]) Auffallend unregelmässige Athmung zwischen 19 und 26 l per Minute.

Athmung								
der ausgeathmeten Luft				per Minute		Sauerstoff verbraucht		
Volum per Minute	Sauerstoff-defieit	Kohlen-säure-zuwachs	Respirat.-Quot.	Sauerstoff verbraucht	Kohlen-säure-bildung	per Meter Weg	per Kilo und Meter	
l	pCt.	pCt.				ccm	cbmm	
9	10	11	12	13	14	15	16	
20,29	6,19	4,845	0,78	1148,4	898,9	15,48	174,9)	
19,46	5,52	4,665	0,84	982,7	830,2	13,63	154,1)	
14,00	5,42	4,46	0,82	684,3	563,2	9,68	142,8	[1]
22,19	5,83	4,94	0,85	1167,3	989 3	16,42	242,2	
22,46	5,74	4,93	0,86	1164,1	1000,4	16,29	240,3	
24,17	6,03	4,975	0,825	1325,6	1093,7	18,25	268,2	[2]
24,50	5,75	5,035	0,875	1282,2	1122,0	18,12	266,2	
22,54	6,42	4,82	0,75	1313,65	986,6	18,62	278,3)	
23,33	6,08	4,905	0,81	1288,5	1039,7	18,38	274,7)	
23,75	6,18	5,01	0,81	1358,2	1100,35	19,19	281,6	
24,72	5,66	4,985	0,88	1295,2	1141,0	18,61	273,1	
21,08	6,49	4,665	0,72	1252,5	900,3	18,43	277,1)	
21,85	6,26	4,76	0,76	1251,7	952,3	18,19	273,5)	
23,23	6,05	4,87	0,80	1284,6	1033,9	17,98	267,4	
23,33	5,62	4,875	0,87	1199,6	1040,7	16,90	251,2	
22,50	6,58	4,665	0,71	1344,1	953,1	19,03	282,1)	[3]
6,236	4,80	3,975	0,83	273,3	226,25			
5,788	5,04	4,09	0,81	265,9	215,6			
6,160	4,32	3,76	0,86	246,6	213,1			
5,863	4,25	3,675	0,865	228,1	197,3			
21,80	6,02	4,80	0,80	1200,3	957,0	16,245	170,6	
22,04	5,70	4,79	0,84	1149,7	966,1	15,64	164,3	
22,08	6,23	4,905	0,79	1240,9	984,05	16,62	177,4)	
23,58	5,93	4,81	0,81	1277,1	1036,2	17,08	179,6	[4]
22.50	5,49	4,755	0,87	1129,3	977,6	15,16	159,3	
22,75	6,33	4,805	0,76	1304,9	990,05	17,51	187,3)	
7,104	4,655	4,095	0,88	301,2	265,0			
7,015	4,89	4,125	0,84	312,0	263,0			
6,529	4,64	4,13	0,89	274,7	244,5			
15,96	2,04	5,87	—	293,7	—			[5]
15,30	1,97	5,75	—	271,5	—			[6]
6,366	4,37	3,86	0,88	251,0	221,7			
21,96	5,955	4,585	0,77	1156,0	890,1	15,54	180,5)	[7]

[5]) Erregung tiefer Athmungen durch Einleiten von Kohlensäure.
[6]) Erregung tiefer Athmungen durch Einleiten von Kohlensäure.
[7]) Leichtes Gepäck — quälende Hitze.

Marsch-No.	Des Versuchs: Datum 1894	Stunde des Beginns	Dauer in Minuten	Art	Kraftleistung: Weg per Minute m	Steigen per Minute m	zu bewegendes Gewicht kg	Steigarbeit per Minute km
	1	2	3	4	5	6	7	8
28	5. Juli	5 Uhr 2 Min.	7	Hor.	72,46		86,55	
		5 „ 16 „	$6^1/_2$	„	74,495		„	
		(11 „ 14 „	7	„	74,73		84.70	
		(11 „ $25^1/_2$M.	$6^1/_2$	„	75,51		„	
	7. „	7 „ 44 Min.	$7^1/_2$	R nüchtern				
		7 „ 57 „	8	„				
		1 „ $34^1/_2$M.	$6^1/_4$	R Verdauung				
		1 „ $45^1/_2$ „	$6^1/_4$	„				
		1 „ 59 Min.	$6^3/_4$	„				

Generaltabelle II. Respirations-

	19. April	11 Uhr 59 Min.	8	R				
	21. „	12 „ 32 „	$16^1/_2$	„				
		2 „ 39 „	$6^1/_2$	St				
	24. „	11 „ 32 „	$6^1/_2$	„	47,25	6,719		
		1 „ 31 „	8	Hor.	53,58			
		2 „ 58 „	$6^1/_2$	„	87,69			
	25. „	12 „ 24 „	$7^1/_2$	„	67,92			
1	30. „	(12 „ $14^1/_2$M.	$7^1/_2$	„				
		(12 „ 25 Min.	7	„				
	1. Mai	11 „ 53 „	22	R stehend				
2	2. „	7 „ 22 „	7	Hor.	76,92		81,20	
		7 „ 30 „	$5^1/_4$	„	93,33		„	
		(10 „ 59 „	6	„	73,65		80,25	
		(11 „ $5^1/_2$M.	7	„	71,44		„	
3	5. „	6 „ 41 Min.	$6^1/_2$	„	74,19		82.000	
		6 „ $48^1/_2$M.	$6^1/_2$	„	76,62		„	
		(10 „ 26 Min.	7	„	73,11		81,650	

[1]) Gestern nicht marschirt, Temperatur erträglicher.
[2]) Die beiden gemittelten CO_2-Analysen differiren um 0.35 pCt.
[3]) Die CO_2-Analysen differiren um 0,25 pCt.
[4]) Gewicht vorher 79,60, nachher 78,98.

Athmung								
der ausgeathmeten Luft				per Minute		Sauerstoff verbraucht		
Volum per Minute	Sauerstoff-defieit	Kohlen-säure-zuwachs	Respirat.-Quot.	Sauerstoff verbraucht	Kohlen-säure-bildung	per Meter Weg	per Kilo und Meter	
l	pCt.	pCt.				ccm	cbmm	
9	10	11	12	13	14	15	16	
20,93	5,59	4,805	0,86	1057,9	909,7	14,60	168,7	1)
20,615	5,46	4,655	0,85	1017,7	867,4	13,66	157,8	
20,29	6,23	4,70	0,75	1133,6	855,5	15,17	179,1)	
21,27	5,86	4,65	0,79	1117,4	887,2	14,80	174,7)	
5,733	4,83	4,065	0,84	250,4	210,6			
5,600	4,895	4,05	0,83	247,8	205,1			
7,120	4,83	3,805	0,79	307,6	242,4			
7.392	4,555	3,71	0,81	301,0	245,1			
6,682	4,89	3,715	0,76	291,8	221,8			
versuche an Herrn P.								
6,062	5,27	3,91	0,74	292,2	216,9			
6,297	5,71	4,50	0,79	330,3	260,5			
20,292	8,62	6,98(?)	0,81 (?)	1647,0	1332,1(?)			2)
13,375	6,54	5,085(?)	0,78	815,5	634,4	15,221		3)
17,923	7,615	6,005	0,79	1269,0	1000,7	14,471		
15,000	6,765	5,825	0,86	928,5	799,5	13,670		
14,827	7,711	6,05	0,78					)4)
14,957	7,477	6,095	0,815					)
5,560	5,23	3,805	0,73	268,6	195,5			
17,243	7,32	6,07	0,83	1195,4	991,5	15,541	191,39	5)
21,295	7,055	6,14	0,87	1417,5	1233.6	15,187	187,03	6)
17,467	8,30	5,83	0,70	1351,3	949,2	18,348	228,64)	7)
16,486	7,97	5,97	0,75	1220,7	914,0	17,086	212,91)	8)
16,708	7,43	5,78	0,80	1183,4	942,0	15,950	194,51	
16,585	7,33	5,875	0,80	1157,0	927,0	15,100	184,15	
15,414	7,61	5,445	0,715	1111,0	794,8	15,197	186,12)	

5) Uniform, Seitengewehr.
6) Nur eine Analyse der Athemluft.
7) Nur eine Analyse der Athemluft.
8) Nur eine Analyse der Athemluft.

Marsch-No.	Des Versuchs: Datum 1894	Stunde des Beginns	Dauer in Minuten	Art	Kraftleistung: Weg per Minute m	Steigen per Minute m	zu bewegendes Gewicht kg	Steigarbeit per Minute km
	1	2	3	4	5	6	7	8
3	5. Mai	(10 Uhr 34 Min.	$7^1/_2$	Hor.	71,69		81,350	
	7. „	9 „ 36 „	$9^3/_4$	R				
		9 „ 49 „	$8^3/_4$	„				
		10 „ $1^1/_2$ „	$7^1/_2$	„				
4	8. „	7 „ 5 „	5	Hor.	76,15		80,350	
		7 „ $12^1/_2$ „	6	„	76,25		80,350	
		(12 „ 24 „	6	„	81,675		79,900	
		(12 „ 31 „	$6^1/_2$	„	77,87		79,900	
5	9. „	6 „ 56 „	$8^1/_4$	R v. M.				
		7 „ 13 „	7	„				
		12 „ 37 „	$6^1/_4$	R n. M.				
		12 „ $48^1/_2$ „	$7^1/_2$	„				
		1 „ $2^1/_2$ „	$7^1/_2$	„				
6	11. „	6 „ $39^1/_2$ „	$6^1/_2$	Hor.	77,18		82,650	
		6 „ 47 „	6	„	76,38		82,650	
		11 „ 5 „	$7^3/_4$	R n. M.				
		11 „ 21 „	9	„				
		11 „ $35^1/_2$ „	$7^1/_4$	„				
7	18. „	6 „ 48 „	$8^1/_2$	Hor.	74,92		82,40	
		7 „ $1^1/_2$ „	$7^1/_2$	„	80,04		82,40	
		(11 „ 56 „	$7^1/_2$	„	77,51		81,55	
		(12 „ $8^1/_2$ „	$7^1/_2$	„	74,62		81,55	
		12 „ $44^1/_2$ „	$7^3/_4$	R n. d. M. u. Tretwerk				
		12 „ 57 „	7	„				
		1 „ 10 „	$7^3/_4$	„			81,700	
8	19. „	6 „ 40 „	7	Hor.	72,58		81,700	
		6 „ 49 „	7	„	73,82			
		(12 „ $2^1/_2$ „	$6^1/_2$	„	74,75		81,25	

[1]) Probenahme Anfangs verzögert.
[2]) Nacktgewicht 68,75 kg.
[3]) Auf dem Marsche Gewicht vorher 86,11, nachher 85,60.
[4]) Auf der Tretbahn Gewehr und Leibriemen abgelegt.
[5]) Unmittelbar nach dem Ablegen des Gepäcks begonnen, ehe volle Beruhigung der Athmung eingetreten.

Athmung							
der ausgeathmeten Luft				per Minute		Sauerstoff verbraucht	
Volum per Minute	Sauerstoff-defieit	Kohlen-säure-zuwachs	Respirat.-Quot.	Sauerstoff verbraueht	Kohlen-säure-bildung	per Meter Weg	per Kilometer
ccm	pCt.	pCt.				ccm	cbmm
9	10	11	12	13	14	15	16
14,933	7,92	5,705	0,72	1117,2	805,2	15,584	190,87)
5,836	5,17	3,98	0,77	277,45	213,45		[1]
5,600	5,27 (5)	3,93	0,75	271,2	202,0		[2]
5,627	5,03	3,93	0,78	259,7	202,9		
18,380	6,26	4,875	0,78	1080,9	842,1	14,19	176,7 [3]
19,066	6,02	4,94	0,82	1073,2	880,7	14,08	175,2 [4]
19,800	7,90	5,685	0,72	1395,1	1004,5	17,08	213,9)
17,600	7,60	5,665	0,75	1241,9	925,2	15,95	199,6)
5,757	5,45	4,06	0,75	294,8	219,7		
6,000	5,49	4,17	0,76	309,0	234,8		
7,696	5,10	4,045	0,79	365,6	290,0		[5]
6,080	5,505	3,78	0,69	311,0	213,55		[6]
5,813	5,68	4,02	0,71	306,4	216,8		
17,567	6,79	5,53	0,81	1112,6	905,8	14,41	174,40 [7]
17,930	6,40	5,475	0,86	1068,7	913,6	13,99	169,2 [8]
5,740	5,395	4,08	0,76	286,1	216,3		[9]
5,300	5,38	3,75	0,70	263,3	183,6		
6,096	4,83	4,00	0,83	271,1	224,6		
16,735	5,84	4,82	0,83	901,1	744,1	12,03	146,0
18,367	6,02	4,66	0,77	1017,6	787,2	12,71	154,3
17,767	6,78	5,085	0,75	1094,4	820,3	14,12	173,18)
17,533	6,83	5,325	0,78	1087,5	847,4	14,57	178,7)
5,877	5,67	4,23	0,75	305,5	226,4		
6,157	5,47	4,19	0,77	306,0	234,6		
5,961	5,67	4,39	0,77	307,3	237,8		
16,257	6,60	5,485	0,83	997,0	829,0	13,74	168,1
16,414	6,43	5,53	0,85	979,0	835,5	13,26	162,3
17,092	7,13	5,51	0,77	1131,8	874,2	15,14	186,35)

[6]) Die CO_2-Analysen differiren um 0,32; der O_2-Bestand um 0,3 pCt.

[7]) Gewicht vorher auf dem Marsehe 88,41.

[8]) Auf der Tretbahn Gewehr und Leibriemen abgelegt.

[9]) Tendovaginitis verhindert Beendigung des Marsehes, zurüekgefahren; seit 1 Stunde ruhend.

Marsch-No.	Des Versuchs: Datum 1894	Stunde des Beginns	Dauer in Minuten	Art	Kraftleistung: Weg per Minute m	Steigen per Minute m	zu bewegendes Gewicht kg	Steigarbeit per Minute km
	1	2	3	4	5	6	7	8
8	19. Mai	(12 Uhr 11 Min.	7	Hor.	73,70		81,25	
9	22. „	6 „ 32 „	$7^1/_2$	„	72,95		74,20	
		6 „ 42 „	$7^1/_2$	„	74,97		74,20	
		7 „ $22^1/_2$ M.	$7^1/_2$	„	71,20		94,85	
		7 „ $31^1/_2$ „	$7^1/_4$		72,50		„	
		(12 „ $37^1/_2$ „	$7^1/_2$	„	68,62		94,40	
		(12 „ $46^1/_2$ „	7	„	73,745		„	
10	23. „	6 „ 59 Min.	$6^1/_2$	„	72,74		96,03	
		7 „ 6 „	6		76,60		„	
		(12 „ $10^1/_2$ M.	6	„	70,71		95,60	
		(12 „ 19 Min.	6	„	73,21		„	
	25. „	9 „ 29 „	8	R			68,90 (nackt)	
		9 „ 41 „	$7^1/_2$	„			„	
	26. „	7 „ 24 „	$7^1/_2$	Hor.	75,04		73,95	
		7 „ 33 „	7	„	75,91		„	
		8 „ 29 „	$6^1/_2$	„	77,23		95,85	
		8 „ 37 „	$6^1/_2$	„	76,49		„	
11	28. „	10 „ 28 „	7	„	75,37		93,34	
		10 „ 37 „	6	„	76,85		„	
12	29. „	6 „ $36^1/_2$ M.	$6^1/_2$	„	76,28		94,90	
		6 „ 45 Min.	$6^1/_2$	„	76,125		„	
		(11 „ 44 „	6	„	73,05		94,10	
		(11 „ 51 „	6	„	76,34		„	
13	30. „	6 „ $48^1/_2$ M.	$6^1/_2$	„	73,44		95,12	
		6 „ 56 Min.	7		75,68		„	
		(12 „ $34^1/_2$ M.	6	„	73,69		94,00	
		(12 „ 41 Min.	6	„	75,37		„	
	1. Juni	9 „ 49 „	8	„	74,75		73,00	
14	2. „	6 „ $51^1/_2$ M.	$6^1/_2$	„	76,655		95,90	
		7 U. 0 Min. 30 S.	$6^1/_2$	„	75,92		„	
		(1 Uhr $4^1/_2$ M.	5	„	76,73		95,25	
		(1 „ 11 Min.	$5^1/_2$	„	75,37		„	

[1]) Unbelastet.
[2]) Unbelastet.
[3]) Mit Gepäck und Gewehr.

Athmung								
der ausgeathmeten Luft				per Minute		Sauerstoff verbraucht		
Volum per Minute	Sauerstoff-deficit	Kohlen-saure-zuwaehs	Respirat.-Quot.	Sauerstoff verbraucht	Kohlen-säure-bildung	per Meter Weg	per Kilometer	
ccm	pCt.	pCt.				ccm	cbmm	
9	10	11	12	13	14	15	16	
16,057	7,33	5,84	0,80	1091,1	869,3	14,80	182,2)	
14,88	6,52	5,455	0,84	914,5	765,6	12,54	168,95	1)
15,64	6,14	5,41	0,88	904,3	796,6	12,06	162,6	2)
17,13	6,07	5,165	0,85	979,2	833,6	13,75	145,00	3)
17,12	6,29	5,285	0,84	1017,2	854,8	14,03	147,9	
16,37	7,35	5,685	0,77	1136,7	879,7	16,565	175,5)	
16,36	7,52	6,015	0,80	1158,5	926,9	15,71	166,4)	
18,49	6,29	5,325	0,85	1104,5	934,95	15,184	158,1	
20,00	6,02	5,13	0,85	1140,6	972,1	14,89	155,1	
18,92	6,37	4,835	0,76	1144,3	868,6	16,18	169,3)	
19,23	6,39	4,87	0,76	1163,5	886,4	15,89	166,2)	
5,738	5,29	4,085	0,77	280,6	216,6			4)
5,960	4,93	3,945	0,80	271,0	216,9			
16,08	6,16	5,255	0,85	908,7	775,6	12,11	163,8	
15,64	6,44	5,395	0,84	923,4	773,2	12,16	164,5	
18,615	6,34	5,045	0,80	1084,4	863,0	14,04	146,5	
18,55	6,39	5,01	0,78	1087,2	852,1	14,21	148,3	
19,60	6,38	5,12	0,80	1141,4	915,6	15,14	162,2	5)
19,45	6,25	5,19	0,83	1107,3	919,35	14,41	154,4)	
18,385	5,95	5,11	0,86	1025,6	880,9	13,44	141,7	6)
19,14	5,81	5,01	0,86	1037,9	895,9	13,63	143,7	
20,23	6,36	4,885	0,77	1188,9	912,8	16,28	173,0)	
20,12	6,19	4,93	0,80	1147,3	913,4	15,03	159,7)	
18,11	5,94	4,905	0,83	1004,0	829,0	13,67	143,7	
18,16	5,92	4,97	0,84	1000,8	839,75	13,22	139,0	
20,62	6,66	5,06	0,76	1257,2	954,55	17,06	180,5)	
20,43	6,68	5,135	0,77	1246,9	958,2	16,54	176,0)	
14,50	5,98	4,90	0,82	798,1	654,0	10,68	146,3	
19,74	6,02	5,22	0,87	1100,7	954,3	14,36	149,7	
18,92	6,08	5,195	0,855	1061,8	907,6	13,99	145,8	
22,40	6,51	4,91	0,75	1338,3	1008,7	17,44	183,1)	
22,22	6,46	5,075	0,79	1310,8	1030,2	17,39	182,6)	

4) Nacktgewicht 68,90 kg.
5) Früh $5^1/_4$ Uhr abmarschirt.
6) Controlanalysen im neuen Apparat stimmen schleeht.

Marsch-No.	Des Versuchs: Datum 1894	Stunde des Beginns	Dauer in Minuten	Art	Kraftleistung: Weg per Minute m	Steigen per Minute m	zu bewegendes Gewicht kg	Steigarbeit per Minute km
	1	2	3	4	5	6	7	8
	4. Juni	10 Uhr 8 Min.	$9^1/_2$	Hor.	58,21		71,85	
		10 „ 22 „	8	„	76,45		71,85	
		11 „ 36 „	$7^1/_2$	„	82,38		71,85	
	5. „	6 „ 56 „	$5^1/_2$	„	74,81		99,37	
		7 „ $2^1/_2$ „	6	„	74,97		99,37	
15	6. „	6 „ 44 „	6	„	75,06		98,55	
		6 „ 52 „	$6^1/_2$	„	74,90		98,55	
		(11 „ 41 „	$5^1/_2$	„	75,87		97,47	
		($47^1/_2$ „	6		74,84		97,47	
	8. „	10 „ 27 „	8	R	—		—	
		10 „ 46 „	8	„	—			
	12. „	7 „ $3^1/_2$ „	$6^1/_2$	Hor.	73,27		99,19	
		7 „ 11 „	$6^1/_2$	„	73,68		99,19	
18	13. „	6 „ 50 „	6	„	73,65	0,14	99,30	13,83
		6 „ $57^1{}_2$ „	6	„	74,09	0,14	99,30	13,91
		(1 „ 16 „	3	„	72,58		98,50	
		($36^1/_2$ „	$5^1/_2$	„	71,68		98,50	
19	16. „	7 „ 32 „	6	„	74,09	0,14	96,02	13,45
		7 „ $39^1/_2$ „	6	„	74,09	0,14	96,02	13,45
		(1 „ $22^1/_2$ „	$5^1/_2$	„	73,98	0,14	94,85	13,27
		(1 „ 29 „	6	„	72,00	0,14	94,85	12,91
	18. „	9 „ $59^1/_2$ „	$8^1/_2$	„	70,81	0,13	71,65	9,59
		10 „ 29 „	6	bergauf	70,99	4,63	71,65	331,59
		10 „ 36 „	6	„	71,23	4,64	71,65	332,69
20	19. „	6 „ 59 „	5	„	72,50		73,30	
		7 „ $6^1/_2$ „	5	„	72,72		73,30	
		(1 „ 1 „	7	„	70,53	4,60	72,90	335,18

[1]) Nüchtern.
[2]) Nüchtern.
[3]) Nüchtern! Gestern Abend ca. 100 g Brod, Fleisch, Eier und 1 Glas Bier.
[4]) Nüchtern! Gestern Abend ca. 100 g Brod, Fleisch, Eier und 1 Glas Bier.
[5]) Probe wegen undichter Leitung unterbrochen!
[6]) Beginnt 30 Minuten nach der Rückkehr.
[7]) Ca. 4 kg Gepäck weniger als bisher; gestern Abend bis $12^1/_2$ Uhr gekneipt.
[8]) Ca. 4 kg Gepäck weniger als bisher; gestern Abend bis $12^1/_2$ Uhr gekneipt.

Athmung							
der ausgeathmeten Luft				per Minute		Sauerstoff verbraucht	
Volum per Minute	Sauerstoff-deficit	Kohlen-säure-zuwachs	Respirat.-Quot.	Sauerstoff verbraucht	Kohlen-säure-bildung	per Meter Weg	per Kilo und Meter
l	pCt.	pCt.				ccm	cbmm
9	10	11	12	13	14	15	16
12,44	6,28	5,08	0,81	721,3	583,5	12,39	172,44
14,99	6,16	4,915	0,80	848,9	677,5	11,10	154,55
14,69	6,93	5,225	0,75	937,0	706,4	11,37	158,3
21,145	5,96	5,17	0,87	1158,1	1003,9	15,48	155,8
19,77	6,20	5,32	0,86	1123,3	963,4	19,77	150,8
20,37	5,94	5,15	0,87	1112,5	963,9	14,82	150,4
18,31	6,14	4,99	0,81	1028,4	835,9	13,73	139,3
22,32	6,35	4,89	0,77	1274,4	981,6	16,80	172,3)
21,78	6,34	5,00	0,79	1240,0	978,2	16,57	170,0)
5,463	5,22	4,15	0,79	260,7	207,2		
5,400	5,40	4,17	0,77	265,6	205,1		
17,615	6,87	5,48	0,80	1120,7	894,2	15,30	154,2 [1]
17,385	7,00	5,565	0,79	1125,9	894,6	15,28	154,1 [2]
18,77	6,52	5,265	0,81	1132,6	914,4	15,38	154,9 [3]
19,85	6,40	5,25	0,82	1173,1	962,4	15,83	159,8 [4]
22,7	—						[5]
21,09	7,14	5,26	0,74	1378,7	1015,2	19,23	195,2) [6]
19,85	5,99	5,174	0,86	1113,1	960,9	15,02	156,5 [7]
19,43	6,11	5,24	0,86	1107,4	950,4	14,95	155,7 [8]
19,73	6,61	5,345	0,81	1190,1	961,8	16,09	169,6)
18,93	6,71	5,425	0,81	1158,2	936,0	16,09	169,6)
12,635	7,195	5,515	0,77	821,5	629,7	11,60	161,0 [9]
18,63	7,63	5,735	0,75	1276,8	959,8	17,99	251,0 [10]
19,70	7,37	5,895	0,80	1299,9	1039,9	18,24	254,6 [11]
22,30	7,09	5,975	0,84	1433,4	1208,6	19,77	269,7 [12]
22,38	6,98	6,03	0,86	1410,8	1219,5	19,40	246,6 [13]
20,17	7,65	6,145	0,80	1409,1	1132,2	19,98	274,0) [14]

[9]) In Civilanzug unbelastet.
[10]) In Civilanzug unbelastet.
[11]) In Civilanzug unbelastet.
[12]) In Uniform ohne Gepäck.
[13]) In Uniform ohne Gepäck.
[14]) Ohne Gepäck wie vor dem Marsch; bei dieser Stellung der Bahn stets 0,065 186 m Steigung pro M. Weg, d. h. 65,186 Grammmeter Arbeit pro Kilogramm und Meter.

Marsch-No.	Des Versuchs: Datum 1894	Stunde des Beginns	Dauer in Minuten	Art	Kraftleistung: Weg per Minute m	Steigen per Minute m	zu bewegendes Gewicht kg	Steigarbeit per Minute km
	1	2	3	4	5	6	7	8
	19. Juni	(1 Uhr 9 Min.	6	bergauf	70,265	4,58	72,90	333,90
21	20. „	6 „ 51½ M.	6	„	70,47	4,59	73,97	339,80
		6 „ 59 „	6	„	69,55	4,53	73,97	335,34
	20. „	(12 „ 56 „	6	„	67,92	4,43	72,92	334,17
		(1 „ 3 „	6	„	68,685	4,48	72,92	326,48
22	21. „	7 „ 7½ M.	5½	„	71,68	4,67	73,15	341,81
		24½ M.	5	„	71,44	4,66	73,15	340,66
	21. „	(1 „ 39½ M.	5½	„	70,96	4.63	73,05	337 90
		(1 „ 46 Min.	5½	„	70,16	4,57	73,05	433,6
	23. „	8 „ 56 „	7	R				
		9 „ 8 „	7	„				
		9 „ 19½ M.	8½	„				
	25. „	7 „ 27 Min.	8	R				
		„ 41 „	8	„				
23	26. „	7 „ 37 „	6	hor.	73,65		101,06	
		7 „ 44 „	5		73,56			
	26. „	(1 „ 45 „	5	„	75,31		99,45	
		(1 „ 51 „	6	„	74,88			
24	27. „	7 „ 18½ M.	6	hor.	73,65		99,60	
	27. „	7 „ 25 Min.	5	„	73,16		99,60	
	27. „	(1 „ 12 „	6	„	72,55		98,05	
		(1 „ 19 „	6	„	72,63		98.05	
25	28. „	7 „ 18 „	5	„	75,15		98,93	
		7 „ 24 „	5½	„	74,09		98.93	
	28. „	(1 „ 40 „	5½	„	75,05		97,00	
		(1 „ 46 „	6	„	74,09		97,00	
	29. „	10 „ 54 „	6¾	R				
		11 „ 8 „	7	„				
	30. „	9 „ 42 „	6	„				
		9 „ 58 „	6½	„				
26	3. Juli	(10 „ 48 „	6½	hor.	73,10		90,90	
		(10 „ 55½ M.	6½	„	74,88		90,90	
27	4. „	4 „ 53 Min.	6	„	77,18		91,20	

[1]) Ohne Gepäck.
[2]) Ohne Gepäck.
[3]) Mit schwerem Gepäck horizontal.

Athmung								
der ausgeathmeten Luft				per Minute		Sauerstoff verbraucht		
Volum per Minute	Sauerstoff-deficit	Kohlen-säure-zuwachs	Respirat.-Quot.	Sauerstoff verbraucht	Kohlen-säure-bildung	per Meter Weg	per Kilo und Meter	
l	pCt.	pCt.				ccm	cbmm	
9	10	11	12	13	14	15	16	
19,00	8,04	6,515	0,81	1392,6	1128,0	19,82	271,9)	
19,65	7,80	6,205	0,80	1437,2	1143,8	20,395	275,7	1)
19,85	7,31	6,225	0,85	1357,8	1156,1	19,525	263,95	
19,50	7,38	5,615	0,76	1323,8	1007,5	19,49	267.3)	
18,47	7,50	5,955	0,79	1272.0	1010,5	18,52	254.0)	
20,71	7,17	5,82	0,81	1341.3	1088,6	18,71	255,8	2)
22,08	6,57	5,69	0,87	1337,6	1158.0	18,72	256.0	
22,44	7,35	5,62	0,76	1516,1	1157,9	21,37	292,5)	
22,20	7,46	5,95	0,80	1515,8	1209,1	21,61	295,8)	
6,871	4,76	4,08	0,86	301,9	257.5			
6,629	4,85	4,27	0,88	295,1	259,5			
6,741	5,07	4,25	0,84	313,1	268,2			
5,475	4,85	4,21	0,87	242,3	210,5			
5,463	4,87	4,18	0,86	242,4	207,9			
20,22	6,08	5,21	0,86	1146,5	982,2	15,57	154.04	3)
21,64	5,92	5,18	0,88	1193,1	1044,3	16,22	160.48	
21,72	6,28	5,29	0,84	1259,0	1058.0	16,72	168.1)	
21,33	6,25	5,30	0,85	1225,8	1040.1	16,37	164.6)	
19,70	5,95	5,05	0,85	1093,5	927.8	14,85	149,07	
20,30	5,90	5,15	0,87	1114,5	972,8	15,23	152,94	
19,92	7,03	5,68	0,81	1280,8	1033,6	17,66	180.1)	
20,12	6,68	5,52	0,83	1226,9	1013,5	16,89	172,3)	
23,04	6,29	5,20	0,83	1342,4	1108,0	17,86	180.6	
22,09	6,05	5,12	0,85	1234,0	1043,6	16,66	168,35	
22,96	6,57	5,05	0,77	1362,6	1047,0	18,16	187,2)	
21,67	6,72	5,40	0,80	1312,1	1053,3	17,71	182,6)	
6,24	4,92	4,08	0,83	279,0	231,4			
6,27	5,11	4,14	0,81	290,8	235.2			
7,58	4,69	4,15	0,88	322,7	285.4			
6,95	4,65	3,95	0,85	292,9	248.8			
17,66	7,17	5,62	0,78	1100,1	861,6	15,05	165,6)	4)
17,54	7,08	5,85	0,83	1074,1	889,6	14,35	157,8)	
18,22	6,53	5,44	0,83	1080,8	899,9	14.00	153,6	

4) Leichtes Gepäck; Belastung 22,34 kg. Frühmarsch ohne vorangehenden Res.-Versuch.

Marsch-No.	Des Versuchs: Datum 1894	Stunde des Beginns	Dauer in Minuten	Art	Kraftleistung: Weg per Minute m	Steigen per Minute m	zu bewegendes Gewicht kg	Steigarbeit per Minute km
	1	2	3	4	5	6	7	8
27	4. Juli	5 Uhr 0 Min.	6	Hor.	76,29		91,20	
		(10 „ 42 „	6	„	74,93		91,00	
		(10 „ 49 „	6	„	74,70		„	
28	5. „	5 „ 1½ M.	6½	„	75,15		90,88	
		5 „ 9 Min.	6½	„	74,88		„	
		(11 „ 13 „	6½	„	74,50		89,58	
		(11 „ 20½ M.	7	„	75,04		„	
	6. „	9 „ 48½ „	6½	R				
		10 „ 5½ „	4¼	R. CO_2				
		10 „ 14 Min.	4½	„				
	7. „	2 „ 46 „	5¾	R. Verd.				
		2 „ 57 „	5	„				
		3 „ 36½ M.	6	„				

[1]) Mehrfach hackte die Gasuhr und musste das Hinderniss durch forcirte Exspirationen überwunden werden.

Athmung							
der ausgeathmeten Luft				per Minute		Sauerstoff verbraucht	
Volum per Minute ccm	Sauerstoff-deficit pCt.	Kohlen-säure-zuwachs pCt.	Respirat.-Quot.	Sauerstoff verbraucht	Kohlen-säure-bildung	per Meter Weg ccm	per Kilometer cbmm
9	10	11	12	13	14	15	16
18.62	6,11	5,37	0,88	1032,2	906,5	13,53	148,4
18,37	6,64	5,20	0,78	1107,3	867,3	14,78	162,4)
18,22	6,38	5,07	0,79	1053,4	836,7	14,10	155,0)
17,82	6,33	5,21	0,82	1037,5	854,2	13,81	151,9
17,82	6,04	5,15	0,85	987,9	842,4	13,19	145,2
17,54	6,58	5,03	0,76	1046,5	799,4	14,05	156,8)
17,10	6,72	5,16	0,77	1040,8	799,2	13,87	154,8)
6,65	4,94	4,04	0,82	298.05	243,6		
15,55	2,66	5,50		373,01			[1]
14,22	2,68	4,75		341,98			[1]
7,70	5,10	4,055	0,79	350,6	278,6		
7,26	5,23	4,025	0,77	338,4	260,4		
7,25	5,38	4,04	0,75	347,9	261,3		

Tabelle III. Abnahme (—) oder Zunahme (+) der Vital-

Marsch-No.	B.		P.		C.		S.	
	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
1	—	0	—	—190	—	—350	—	+200
2	—	0	—	+480	—	—550	—	—100
3	—	0	—	—	—	—	—	—
4	—	—100	—	—400	—	+100	—	—200
5	—	—200	—	—200	—	—200	—	+200
6	—	—200	—	—250	—	—450	—	—100
7	—	+100	—	—100	—	+100	—	—350
8	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	0	—	—500	—	0	—	—200
10	—100	—	—800	—	—	—	—500	—
11	0	—100	—300	—	0	—	—500	—
12	+200	—	—	0	0	—	0	—
13	0	—100	+100	—	—	—	—500	—
14	—	0	—	—100	—100	—	—500	—
15	—	—	0	—	—300	—	0	—
16	0	—100	—	—	—200	—150	—500	—300
17	—600	—100	—	—	—500	—	—400	—
18	—200	0	—	+150	—	—	—300	—300
19	—100	0	—200	—200	—	—	—100	+ 50
20	—100	+ 50	—	+200	—200	—200	—200	—350
21	—100	0	—	+350	—	—	—200	—150
22	—300	—100	—	— 30	—	—	—500	—450
23	+300	+100	0	—	—400	—400	—400	— 50
24	—	—	— 70	—	—300	—250	—400	—200
25	0	0	+250	—	—500	—600	—	—
26	—100	+100	—	+500	—100	—100	—300	—200
27	—	—	+100	—	0	+100	—200	—100
28	—	+200	—200	—	—	—	—300	—100

capacität am Schlusse der Märsche mit und ohne Gepäck.

F.		Differenz zwischen Zu- und Abnahme mit und ohne Gepäck				
mit	ohne	B.	P.	C.	S.	F.
—	—200	—	—	—	—	—
—	—200	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—500	—	—	—	—	—
—	+150	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	— 50	—	—	—	—	—
—250	—	—	—	—	—	—
—	—	+100	—	—	—	—
—100	—	—	—	—	—	—
—400	—	+100	—	—	—	—
—	—100	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	+100	—	— 50	—200	—
—400	—	—500	—	—	—	—
— 200	—100	—200	—	—	0	—100
—100	+100	—100	0	—	—150	—200
—650	—400	—150	—	0	+100	—250
+ 50	—200	—100	—	—	— 50	+250
—100	—150	—200	—	—	— 50	+ 50
—400	+100	+200	—	0	—350	—500
—200	—100	—	—	— 50	—200	—100
0	— 50	0	—	+100	—	+ 50
+300	—100	—200	—	—	—100	+400
—	0	—	—	—100	—100	—
—200	—100	—	—	—	—200	—100

Tabelle IV. Zahl der Athem-

No. des Marsches	Datum	B.		P.	
		während	nachher	während	nachher
9	22. Mai	—	20	—	19
10	23. „	—	23	—	21
11	28. „	—	20	—	19
12	29. „	—	—	—	20
13	30. „	—	21	—	22
14	2. Juni	—	22	—	19
15	6. „	—	—	I 19 (17)	29
16	8. „	I 24 (19)	24	—	—
17	9. „	—	25	—	—
18	13. „	I 27 (20) II (24)	28	I 20 (19) II 26	19
19	16. „	I 25	27	I 22	20
20	19. „	I 27	21	I 19	20
21	20. „	I 27 (18) II (17)	21	I 20 (16) II (15)	18
22	21. „	I 20	22	I 23	19
23	26. „	I 19	I 25	I 19	19
24	27. „	—	—	I 21 (15) II 20 (15)	18
25	28. „	I 18 (18) II 19 (16)	20	I 19 (18) III 18 (16)	19
26	3. Juli	I 18 (16) II (16)	20	I 20 (18) II 22 (20)	20
27	4. „	—	—	I 20 (18) II 20 (18)	16
28	5. „	I 16 18	18	I 17 19	18

In dieser Tabelle sind die am Sehlusse einer Ruhepause gezählten Athemfrequenzen eingeklammert. — Die kleinen römisehen Zahlen I, II, III über der Zahl

Zu Tab. V und VI. Die Harnanalysen wurden nach Kjeldahl's Methode doppelt, im Laboratorium der Kaiser Wilhelm-Academie von Herrn Stabs-Apotheker Mathes, im thierphysiologischen Institut von Herrn Professor Frentzel ausgeführt. Jeder arbeitete mit selbständig dargestellten titrirten Lösungen, deren Werth aber verglichen und identisch

züge an den Marschtagen.

C.		S.		F.	
während	nachher	während	nachher	während	nachher
—	26	—	28	—	19
—	—	—	29	—	24
—	26	—	22	—	—
—	30	—	25	—	24
—	—	—	23	—	25
—	31	—	29	—	18
I 27 (17)	32	I 29 (24)	27	—	—
I 26 (24)	30	I 29 (26)	29	—	—
—	32	—	30	—	25
—	—	I II 29 (24) 30	30	I II 25 (19) 29	30
—	—	I 25	29	I 25	22
I 28	30	I 29	29	I 23	20
—	—	I II 30 (21) (20)	28	I II 22 (17) (16)	18
—	—	I 27	28	I 23	20
I 25	28	I 27	29	I 21	19
I II 28 (25) 30 (22)	28	I II 29 (19) 29 (19)	28	I II 24 (17) 25 (18)	21
I III 28 (24) 29 (20)	27	—	—	I III 25 (20) 23 (18)	26
I II 25 (20) 30 (26)	32	I II 27 (18) 28 (22)	30	I II 21 (18) 22 (20)	28
I II 30 (24) 30 (22)	33	I II 28 (20) 30 (22)	30	I II 24 (18) 20 (—)	20
—	—	I 22 26	28	I 17 20	18

der Athemzüge bedeutet, dass die betreffende Zahl vor dem ersten, zweiten oder dritten Halt festgestellt wurde.

gefunden war. Wenn die Zahlen nicht genügend übereinstimmten, wurden am folgenden Tage neue Bestimmungen gemacht. Wir geben als Belag die auf die Tagesportion berechneten Stickstoffwerthe. Die Buchstaben M. und F. neben der Zahl bezeichnen den Analytiker.

Tabelle V. P.-Stickstoff im Tagesurin.

Datum	Analysen		Endergebniss
23.—24. Juni	15,54 (M.)		
24.—25. „	11,8625 (M.), 11,958 (F.), Restharn 0,442 (F.)		15.5
25.—26. „	12,432 (M.), 12,44 (F.)		12.3
26.—27. „	13,44 (M.), 13,464 (F.)		12,4
27.—28. „	15,40 (M.), 15,336 (F.,	Arbeitstage	13.4
28.—29. „	15.66 (M.), 15,492 (F.)		15,3
29.—30. „	15,606 (M.), 15,764 (F.)		15.5
30.—1. Juli	13,72 (M.), 13,73 (F.)		15.6
1.—2. „	12,81 (M.), 12,90 (F.)		13.7
2.—3. „	[13,72 (M.)], 13,44 (M.), 13.308 (F.), 13,164 (F.)		12.8
3.—4. „	[14,35 (M.)], 14,42 (M.), 14,784 (F.), 14,916 (F.), 15.80 (F.), 15,046 (F.)		13.4
4.—5. „	16,80, 17,08 (M.), 15,862 (M.), 16,884 (F.)	Arbeitstage	14.6
4.—6. „	16,24, 16,38 (M.), [16,00 (F.)], 16,40 (F.)		16.9
6.—7. „	17,08, 16,94, 16,94 (M.), 16,248 (F.), 16,034 (F.), 16,104 (M.)		16.2
7.—8. „	11,90, 12,11, 11.90 (M.) 11,84 (F.) Mittel 11,94. Restharn 2,545 (F.)		16.5
8.—9. „	13,90, 13,93 (M), 13.834 (F)		14.4
			13.8

Tabelle VI. B.-Stickstoff im Tagesurin.

Datum	Analysen		Endergebniss
23.—24. Juni	10,815 (M.)		
24.—25. „	9.345 (M.) 9,306 (F.)		10.82
25.—26. „	9.80 (M.), 9,782 (F.)		9.33
26.—27. „	10.15 (M.), 10,35 (F.)		9.79
27.—28. „	12,04 (M.), 12,396 (F.)	Arbeitstage	10.25
28.—29. „	11,06 (M.), 11,024 (F.)		12.22
29.—30. „	12,32 (M.), 12,12 (F.)		11.04
30.—1. Juli	12,46 (M.), 12,76 (F.)		12.22
1.—2. „	9,80 (M.), 9.72. 9,65, 9,65 (F.)		12.61
2.—3. „	12,10 (M.), 11,56 (F.), 11.94 (F.), 12,0. 11,90, 11.90 (M.)		9.70
3.—4. „	11,62 (M.), 11,768 (F.), 11,624 (F.)		11.90
4.—5. „	12,60, 12,74, 12,32 (M.), 12,736, 12,316 (F.)	Arbeitstage	11.67
5.—6. „	12,04, 11,76 (M.), 11,88 (F.)		12.54
6.—7. „	vacat.		11.89
7.—8. „	11,27 (M.), 11,27, 10,92 (M.), 11,744 (F.), 11.38 (F.)		vacat
8.—9. „	9,52 (M.), 9,652 (F.)		11.32
			9.59

Tabelle VII.[1])

Zur Berechnung der Wärmeproduction aus dem Sauerstoffverbrauch bei Fett und Kohlenhydratverbrennung.

R. Q.	Calorischer Werth von 1 ccm Sauerstoff		Differenz der Logarithmen
	Numerus	Logarithmus	
0,70	4,686	0,67080	—
0,71	4,690	0,67116	—
0,72	4,702	0,67231	115
0,73	4,714	0,67346	115
0,74	4,727	0,67460	114
0,75	4,739	0,67574	114
0,76	4,752	0,67688	114
0,77	4,764	0,67801	113
0,78	4,776	0,67913	112
0,79	4,789	0,68024	111
0,80	4,801	0,68136	112
0,81	4,813	0,68247	111
0,82	4,825	0,68358	111
0,83	4,838	0,68469	111
0,84	4,850	0,68578	110
0,85	4,863	0,68690	111
0,86	4,875	0,68800	110
0,87	4,887	0,68910	110
0,88	4,900	0,69019	109
0,89	4,912	0,69128	109
0,90	4,924	0,69230	108
0,91	4,936	0,69343	107
0,92	4,948	0,69450	107
0,93	4,960	0,69557	107
0,94	4,973	0,69664	107
0,95	4,985	0,69771	107
0,96	4,997	0,69878	107
0,97	5,010	0,69985	107
0,98	5,022	0,70092	107
0,99	5,034	0,70199	107
1,00	5,047	0,70307	108

[1]) Vergl. S. 260.

WELLCOME LIBRARY INSTITUTE

Druck von L. Schumacher in Berlin.

Tafel I.

Einfluss der Märsche auf die einzelnen Körperfunktionen.

F. Lenz lith. Berlin